

6174  
К 647

Инж. П. В. КОНОНЕНКО

ГНУТЬЕ  
ХВОЙНЫХ  
ПОРОД

КОИЗ  
1935

61745





P2722

674

K-647

НАУЧНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМКООПЕРАЦИИ (НЭКИН)

ЛАБОРАТОРИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Инж. П. В. КОНОНЕНКО

# ГНУТЬЕ ХВОЙНЫХ ПОРОД

С предисловием

проф. А. Ю. РЕЙХАРДТА

1944 г.  
54119  
0

ЛЕНИНГРАД

КНИГОХРАНИЛИЩЕ  
ОБЛ. БИБЛИОТЕКИ  
г. СВЕРДЛОВСК

1935

ВСЕСОЮЗНОЕ КООПЕРАТИВНОЕ ОБЪЕДИНЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва

Ленинград



8674.76

## Содержание

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
I. Причины, которыми следует объяснить отрицательные результаты гнутья хвойных при пользовании классическими приемами загиба и применяемыми для этой цели станками . . . . .	7
II. Выбор древесины, послужившей объектом для исследования . . .	8
III. Исследование «пластических» деформаций, как характеристики способности древесины претерпевать загиб . . . . .	9
IV. Разделка кражей на образцы . . . . .	11
V. Влияние влажности древесины и гидротермической обработки на деформацию сжатия . . . . .	12
VI. Влияние обработки древесины щелочью на деформацию сжатия вдоль волокон . . . . .	14
VII. Эксперименты по загибу . . . . .	16
VIII. Теоретические обоснования нового метода гнутья древесины (статья проф. А. Х. Певцова) . . . . .	29
IX. Сушка гнуто-прессованной древесины . . . . .	37
X. Физико-механические свойства гнуто-прессованной древесины . . .	37
XI. Изменение микроструктуры древесины после загиба с одновременным прессованием . . . . .	47
XII. Стабилизация формы и размеров гнуто-прессованной древесины .	48
XIII. Выводы . . . . .	52
XIV. Практические мероприятия по применению нового метода гнутья с целью использования хвойных пород в мебельном, обозном и др. производствах . . . . .	53



## Предисловие

Употребление древесины также старо, как и человечество. Ею пользовался доисторический человек и еще в большей мере пользуется современный. Благодаря упорному изучению этого чрезвычайно сложного по строению и разнообразного по свойствам материала, каждый день открываются новые возможности его использования для различных целей, вплоть до выработки из древесины продуктов питания.

Обладая рядом исключительно ценных свойств, присущих только древесине и делающих ее во многих случаях незаменимым материалом, она вместе с тем обладает не меньшими отрицательными свойствами: разнородностью строения, гигроскопичностью, влагопоглощением, усушкой, разбуханием, формоизменяемостью, растрескиванием, загниванием и пр., осложняющими ее использование.

Основной задачей рационального использования древесины является предварительная ее подготовка путем механической, термической, гидротермической и химической обработки, направленной к тому, чтобы сохранить и по возможности усилить все ее положительные свойства и совершенно погасить или довести до минимума ее природные свойства, отрицательно влияющие на древесину, как материал.

Совершенно ясно, что положительные результаты в этом направлении могут быть получены только на основе всестороннего глубокого изучения древесины, как материала, и тех процессов и изменений, которые в ней происходят в результате различного воздействия на нее.

К числу положительных свойств древесины относится способность ее к гнучью, широко используемая в промышленности. До настоящего времени техникой было освоено гнучье лишь немногих древесных пород — бука, ясеня, дуба, ивы и некоторых других, за исключением северных районов, где, за отсутствием указанных пород, население для своих домашних нужд пользуется при изготовлении гнутых изделий (полозья, ободья, дуги и пр.) другими лиственными и даже хвойными породами.

Работа лаборатории механической обработки дерева НЭКИНа, выполненная зав. лабораторией инж. П. В. Кононенко с участием



научного сотрудника лаборатории инж. А. А. Андреева, при консультации проф. А. Х. Певцова, представленная в кратком изложении в настоящей книге, ставит себе задачей — на основе изучения свойств древесины сосны установить способы ее бездефектного загиба.

Сохранив в древесине сосны ее положительные свойства и сведя до минимума отрицательные, лаборатория, путем гидро-термической обработки и одновременного с загибом прессования, достигла положительных результатов, заслуживающих самого серьезного внимания, как большое достижение в области гнутья, имеющее громадное практическое значение.

Опубликование работы лаборатории необходимо всемерно приветствовать.

**Проф. А. Рейхардт**



## Введение

Возросший за последние годы спрос на изделия из гнутой древесины, а также дефицитность древесных пород (бука, дуба, ясеня, клена и др.), употребляющихся в производствах этих изделий, ставят перед промышленностью вопрос о подыскании новых пород, пригодных для гнутья, имеющих значительный ареал распространения и обладающих большими запасами по массе.

Применение для изготовления гнутых изделий преимущественно вышеупомянутых и некоторых других пород (например, ильма, частично березы, ивы) следует объяснить, с одной стороны, специфическими природными их свойствами, благодаря которым они сравнительно легко поддаются загибу, а с другой — отсутствием особой необходимости в прежние, особенно дореволюционные годы, расширить ассортимент пород, пригодных для гнутья, так как запасы таких пород вполне покрывали спрос. Вместе с тем нельзя не отметить, что применение для гнутья преимущественно отмеченных пород породило известный консерватизм в использовании древесины других ботанических видов, что следует в свою очередь объяснить низким уровнем развития техники гнутья древесины вообще, которая (техника) до самого последнего времени зиждилась на примитивном опытничестве. До настоящего времени не создано также и теории загиба.

Ряд пород, в частности хвойные, считались непригодными для гнутья, или применение их ограничивалось изготовлением таких деталей изделий, у которых отношение высоты « $h$ » к радиусу кривизны « $r$ » весьма мало (рис. 1) и составляет величину порядка  $1/30—1/20$ , в то время как у большинства конструкций гнутых деталей (например, гнутая мебель, обозное производство,

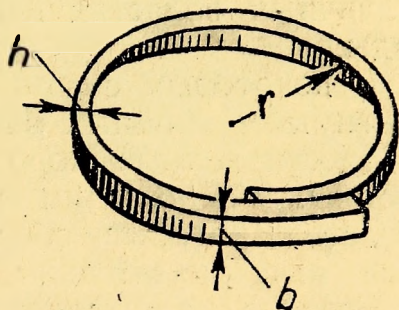


Рис. 1. Загнутая рейка:  
 $h$  — высота,  $b$  — ширина,  
 $r$  — радиус кривизны

самолетостроение и т. д.)  $\frac{h}{r} = \frac{1}{10}; \frac{1}{4}$  и больше.



Согласно имеющимся данным Наркомлеса, в СССР из общего запаса спелых и приспевающих насаждений хвойные породы (сосна, ель, лиственница, кедр и др.) составляют примерно 82 проц., мягкие лиственные породы (береза, липа, осина и др.) — 17 проц., и на долю твердых лиственных пород, многие из которых преимущественно употребляются для загиба, приходится всего лишь около 1 проц.

Распределение лесопокрытой площади по господству пород представляется в следующем виде: хвойные породы занимают 73 проц., лиственные — 10,3 проц., твердые лиственные — 1,7 проц. и нераспределенные породы — 15 проц.

Приведенные цифры показывают, что запасы хвойных пород, в частности сосны (на долю которой приходится 22,5 проц. от всего запаса), колоссальны и географическое размещение их очень широко. В то же время твердые лиственные породы, употребляемые для гнутья, составляя весьма незначительный процент в общем запаса насаждений, оказываются к тому же дефицитными. Отсюда совершенно своевременно было поставить проблему гнутья хвойных пород, которые должны заменить в различных областях нашего хозяйства твердые лиственные породы.

В некоторых специальных областях необходимость обработки гнутьем хвойных вызывается не столько желанием заменить твердолиственные породы, сколько специфическими свойствами хвойных, — небольшим объемным весом, высоким коэффициентом качества, которые обеспечивают конструкциям при небольшом весе высокие механические качества.

Краткое изложение результатов работы по загибу хвойных пород, проведенной лабораторией механической обработки дерева НЭКИНа, и дается в настоящем труде<sup>1</sup>.

Экспериментальная работа была выполнена под руководством автора научным сотрудником лаборатории инж. А. А. Андреевым при консультации проф. А. Х. Певцова, которым написана в настоящей брошюре глава «Теоретическое обоснование нового метода гнутья древесины».

Автор выражает благодарность проф. А. Х. Певцову за весьма ценные советы при проведении настоящей работы.

---

<sup>1</sup> Проблема гнутья хвойных была поставлена в Институте по инициативе и на средства Москопромсовета и Мосмебпромсоюза.



## **I. Причины, которыми следует объяснить отрицательные результаты гнутья хвойных при пользовании классическими приемами загиба и применяемыми для этой цели станками**

Прежде всего следует отметить, что существующее понятие «гибкость древесины» крайне неудовлетворительно, так как оно по существу определяет не свойство древесины (качество) «гнуть-ся», а сумму качеств, определяющих эффект гнутья, которыми обуславливается способность древесины оказывать сопротивление различным видам действия внешних сил.

Из сказанного следует сделать вывод, что при оценке пригодности той или иной породы для гнутья необходимо, рассматривая сумму (комплекс) качеств, преобладающих при гнутье, анализировать лишь те из них, влияние которых превалирует на успех загиба. Под термином «загиб» мы понимаем явление изгиба, при котором бруску в каждой его точке принудительно придается наперед заданный радиус кривизны.

Тот факт, что по вопросу о влиянии качества древесины на успех загиба существовали и существуют весьма нечеткие и подчас превратные представления, можно подтвердить, сославшись на книгу проф. С. И. Ванина «Древесиноведение» (Ленинград, 1935 г.), в которой он, определяя по Марину<sup>1</sup> пластичность как «способность материала сохранять остаточные деформации после прекращения действия силы» (стр. 271), в то же время (на стр. 272) отождествляет пластичность и гибкость, указывая, что «возраст дерева также сказывается на пластичности<sup>2</sup> при изгибе: молодое дерево гнется лучше старого»... и т. д. Следовательно, читатель должен заключить, что, по Ванину, лучше гнется та древесина, которая обладает большей пластичностью. Аналогичные справки можно было бы привести и из работ других авторов (Кротов<sup>3</sup>, Белилин<sup>4</sup> и др.) по ряду других терминов, которыми пользуются для характеристики способности древесины гнуться. К таким нечетким терминам принадлежат: «вязкость», «эластичность», «пластическая деформация» и др.

<sup>1</sup> Марин. «Классификация механических свойств твердого тела и их численное определение». Труды ЦАГИ, вып. 139, М., 1932 г.

<sup>2</sup> Подчеркнуто нами.

<sup>3</sup> Проф. Е. Г. Кротов. «Технология дерева». Москва—Ленинград, 1934 г.

<sup>4</sup> А. Белилин. «Лесное товароведение». Госсельхозиздат, 1930 г., Ленинград.



Несмотря на указанное положение вещей, при обычных приемах загиба максимум внимания уделялось природным свойствам древесины, — вернее, поведению древесины при загибе в зависимости от ее способности «гнуться» и от условий предварительной ее обработки до загиба (проваривание, пропаривание), которые мы называем «гидротермической обработкой», — хотя составляющие комплекс участвующих при загибе свойств обычно и не анализировались, а суждения основывались, главным образом, на технологических пробах. Проведенные работы в этой области научно-исследовательских институтов, а также обширная практика производственных предприятий показали, что, несмотря на применение разнообразнейших режимов гидротермической обработки и обычных приемов загиба, оптимальные соотношения между высотой загибаемого бруска и радиусом кривизны приходится поставить целиком в зависимость от природных свойств древесины, преодоление которых при отмеченных условиях вызывало исключительные трудности и которые определяли пределы обработки древесины гнутьем. Таким пределом для хвойных оказывалось отношение  $\frac{h}{r} = 1/20$ . При увеличении этого отношения до 1/10, 1/5 и т. д. хвойные оказывались неспособными претерпевать загиб.

Анализируя поведение древесины при загибе, мы пришли к выводу, что, чем более совершенна техника гнутья, тем меньше, при всех прочих равных условиях, следует обращать внимание на природные свойства древесины. Этому положению обычно придавалось весьма малое значение. Между тем в процессе загиба преобладает техника загиба, и, следовательно, эффект гнутья зависит, главным образом, от режима гнутья.

До настоящего времени комплекс природных свойств древесины, обуславливающий возможность проведения загиба на желаемый радиус кривизны, определял и технику гнутья, т. е. выбирался путь наименьшего сопротивления. Хвойные и многие лиственные породы оказывались непригодными для гнутья только потому, что для них не был найден соответствующий режим загиба. Доказательством последнего положения является настоящая работа, в результате которой был создан новый, так сказать, механический режим загиба, при применении которого природные свойства древесины имеют уже подчиненное значение.

## **II. Выбор древесины, послужившей объектом для исследования**

В качестве объекта для исследования была взята древесина сосны и ели, отобранная в виде бревен на одном из московских складов из рядового материала (3 бревна сосновых и 3 еловых),



диаметром в верхнем отрубе от 27 до 30 см. Бревна были длиной 6 м с нормальным сбегом, с прямослойной древесиной, без внешних признаков фаутиности, с объемным весом при 15 проц. влажности: для ели — 0,365, для сосны-оболони — 0,4 и для сосны-ядра — 0,47. Число годовых слоев в одном сантиметре для сосны было в среднем 4,6, для ели — 5,2. Как величины объемного веса, так и число годовых слоев были у каждого из трех бревен каждой породы весьма близки между собой, вследствие чего отобранная древесина в порядке приближенной характеристики была аттестована, как достаточно однородная. Все бревна указанных пород были получены из Северного края (из района б. Вологодской губ.).

### **III. Исследование «пластических» деформаций, как характеристики способности древесины претерпевать загиб**

Как известно, при загибе бруска одна сторона его (выпуклая) испытывает растяжение, а другая (вогнутая) — сжатие (в обоих случаях вдоль волокон). Получающиеся при этом деформации сжатия и растяжения являются весьма важными характеристиками для суждения о поведении древесины при загибе.

Наши исследования показывают, что деформации растяжения невелики — не более 2—3 проц. и, следовательно, вообще говоря, не способствуют загибу. Деформации же сжатия (до пределов разрушения древесины) для некоторых пород достигают, при определенных условиях обработки древесины, цифры порядка 35—40 проц.<sup>1</sup>

Способность древесины воспринимать указанные деформации увеличивается под влиянием соответствующего режима гидротермической обработки. Как показали работы Прodelя<sup>2</sup> по гнутью бука, а затем наши работы по исследованию гнутья березы, характер так называемых «пластических деформаций» при растяжении и сжатии может служить одним из показателей способности древесины претерпевать необходимые деформации при загибе. Рассматривая диаграмму сжатия (рис. 2) для бука и березы, полученную на прессе Гагарина при сжатии вдоль волокон образцов размером 20×20×20 см, мы видим, что между пределом пропорциональности и временным сопротивлением получается некоторый участок; числовую величину такой деформации сжатия часто и называют «пластической деформацией». С нашей точки зрения величина «пластической деформации» при

---

<sup>1</sup> Инж. П. В. Кононенко и И. И. Моисеев. «Исследование гнутья березы», НЭКИН. Рукопись.

<sup>2</sup> Prodel. «Zur Holzbiegetechnik, V.D.T., 1931, № 39. См. также в русском издании А. Прodelь: «Гнутье древесины». Гослестехиздат, Москва, 1934 г.



различных случаях действия внешних сил указывает лишь на способность древесины воспринимать деформации и является мерой этого свойства, т. е. она характеризует податливость материала, а не пластичность. Термин «пластическая деформация» мы употребляем в условном смысле.

Следовательно, чем больше будет отстоячек между пределом пропорциональности и временным сопротивлением, тем меньше отношение между ними, т. е.  $\frac{D_{пр. пр.}}{D_{вр. сопр.}}$ , тем более податлива

будет древесина (она при этом может обладать той или иной степенью пластичности), однако это свойство древесины нас интересует уже после ее загиба — при стабилизации формы загнутого бруска.

Под влиянием гидротермической обработки древесины перед загибом отношение  $\frac{D_{пр. пр.}}{D_{вр. сопр.}}$  уменьшается, главным образом, за счет снижения предела пропорциональности. Получаемые

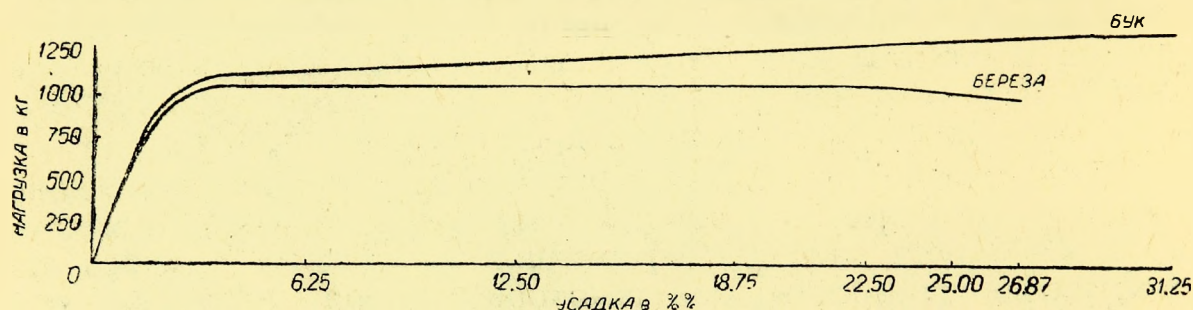


Рис. 2. Деформация сжатия бука и березы вдоль волокон

на диаграммах кривые сжатия — их форма и расположение — дают некоторые характеристики для суждения о возможном поведении древесины при загибе. Продель в упомянутой выше работе высказывает даже мнение, что характер таких кривых напряжений и величина предельных деформаций (полученных им для бука) могут служить критерием для суждения о способности древесины поддаваться загибу. Такое мнение в известной мере справедливо и может быть иллюстрировано приведенной выше диаграммой (рис. 2). В самом деле, рассматривая полученные нами кривые сжатия, мы видим, что диаграмма для бука дает линию, которая в пределах «пластических деформаций» продолжает подниматься кверху. Для березы же характерно, что при переходе за предел пропорциональности, сопротивление сжатию быстро уменьшается и кривая сжатия весьма резко падает книзу; следовательно, в этом случае деформация сжатия не успевает достигнуть значительной величины прежде, чем будет превзойден максимум сопротивления. Последнее является важнейшим фактором в процессе загиба.



Имея в виду высказанные соображения, мы подвергли древесину сосны и ели (и, для сопоставления поведения, древесину березы и бука) различным видам обработки с тем, чтобы сообщить ей большую податливость и вместе с тем сохранить у нее оптимум упругих сил, что необходимо для того, чтобы деформации получались устойчивыми. Следовательно, эти исследования имели цель установить поведение древесины хвойных в отношении податливости при сжатии вдоль волокон и, в связи с этим, выяснить, в какой мере можно в дальнейшем при изыскании режима гнута́я опираться на их природные свойства.

#### IV. Разделка кряжей на образцы

Кряжи были разделаны на рейки по схемам А и А<sub>1</sub>, а последние—на бруски по схеме Б (рис. 3), с таким расчетом, чтобы

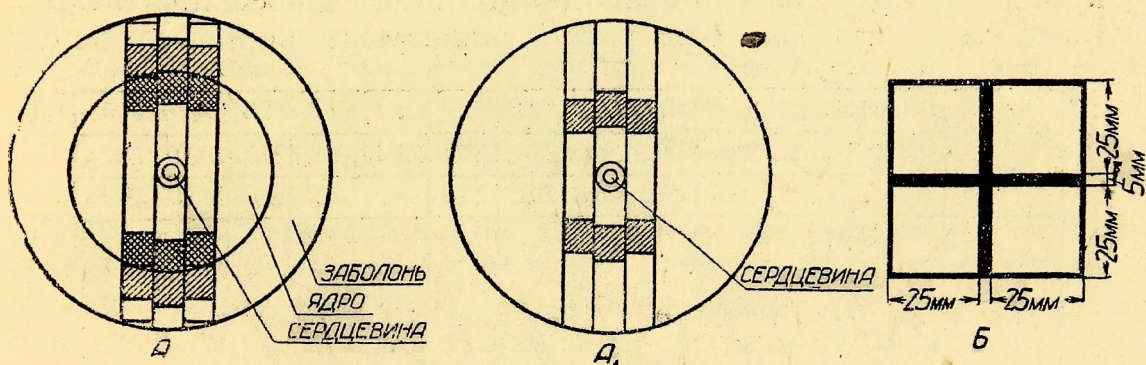


Рис. 3. Схема разделки соснового (А) и елового (А<sub>1</sub>) кряжей на бруски и рейки на бруски (Б)

испытываемую древесину брать в пределах трети радиуса ствола, указанной на схеме А<sub>1</sub> или А, по тем же соображениям, что и для производственных целей при изготовлении гнутой мебели, для деталей, имеющих наибольшее сечение (царга), заготовки сечением до 50×50 мм могут быть вырезаны из кряжей среднего диаметра только в пределах половины радиуса, считая от периферии. Таким образом положение рейки на схеме А или А<sub>1</sub> определяло собой наиболее целесообразное место испытываемых образцов по радиусу ствола для характеристики древесины при загибе. При этом бруски были взяты из двух мест по высоте ствола: из первого и второго метра и из пятого и шестого метра, считая от комля. Древесина сосны из ядра и из заболони подвергалась исследованию каждая отдельно (схема А).

Рейки высушивались до влажности равной 15 проц., затем распиливались на бруски, из которых вырезались образцы в форме кубиков размером 20×20 мм для исследования деформации сжатия со снятием диаграмм. Для последующих же экспериментов по загибу вырезались образцы в виде призматических брусков 20×20×700 мм, причем эти бруски чисто обстрагива-



лись со всех четырех сторон. Испытания на сжатие вдоль волокон производились на прессе Гагарина, на универсальном четырехтонном прессе Амслера со снятием диаграмм. Диаграммы затем подвергались следующей обработке: устанавливалась усадка каждого образца по отношению к начальной его высоте вдоль волокон, а положение и форма кривых сопоставлялись между собой для суждения о поведении древесины при данном виде воздействия внешней силы.

## V. Влияние влажности древесины и гидротермической обработки на деформацию сжатия

Для выявления влияния влажности древесины и в дальнейшем режимов гидротермической обработки снимались диаграммы сжатия древесины, приведенной к влажности 15 проц., 25 проц. и 40 проц. При этом влияние неоднородности древесины было исключено тем, что как для рассматриваемого варианта испыта-

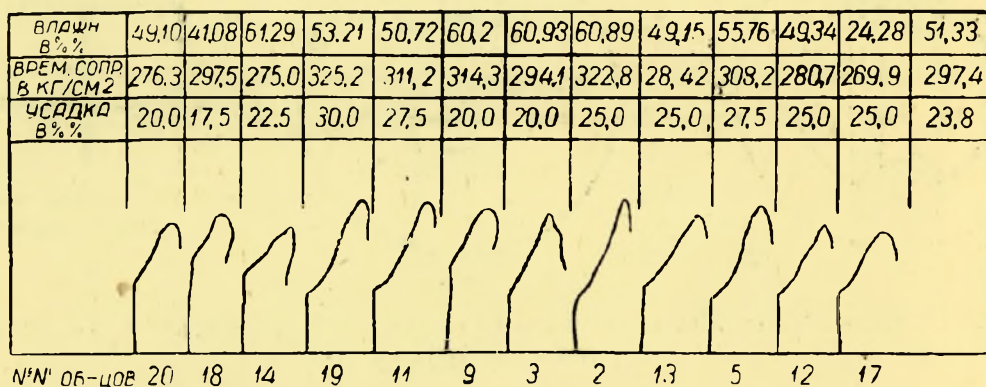


Рис. 4. Диаграмма сжатия вдоль волокон буковой древесины

ний, так и для последующих (делигнификация древесины) образцы изготовлялись из одного кряжа, доски периода фоста вырезались последовательно в непосредственной близости друг к другу. Такой диапазон влажностей, в частности влажность порядка 40 проц., был выбран на основании предыдущих исследований лаборатории<sup>1</sup>, которыми было установлено, что optimum влажности древесины для загиба лежит в пределах точки насыщения волокон. В качестве метода гидротермической обработки было избрано проваривание древесины в воде при температуре 100° Ц, в течение 20 минут (эта длительность проварки, как было установлено специальными исследованиями, является оптимальной для данного размера образцов). Проваривание было предпочтено пропариванию на том основании, что optimum гидротермического воздействия и устойчивость его влияния

<sup>1</sup> Доцент Л. М. Перелыгин. «Режимы гидротермической обработки обрубной древесины». НЭКИН. Рукопись.



в период совершения загиба достигается в большей мере при проваривании, что подтверждено как нашими исследованиями, так и данными английской (Ransome. Woodworking Machinery) и американской (Brown. Forest products) практики и др.

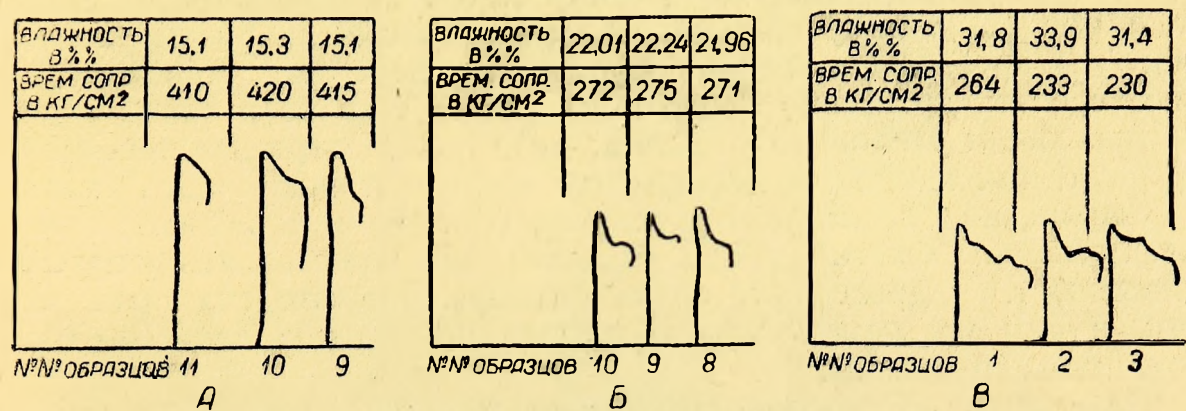


Рис. 5. Диаграмма сжатия сосновых образцов вдоль волокон при влажности 15,25 и 40 проц. А—сосна (ядро) при влажности 15 проц.; Б—сосна (ядро) при начальной влажности 21—25 проц.; В—сосна (ядро) при начальной влажности 31—40 проц.

В результате исследования оказалось, что древесина сосны и ели при выбранном диапазоне влажностей не дает сколько-нибудь оптимальных кривых. Ни один из вышеуказанных режимов влажности древесины, а также режим гидротермической обработки, который мы считали оптимальным для ряда пород, например,

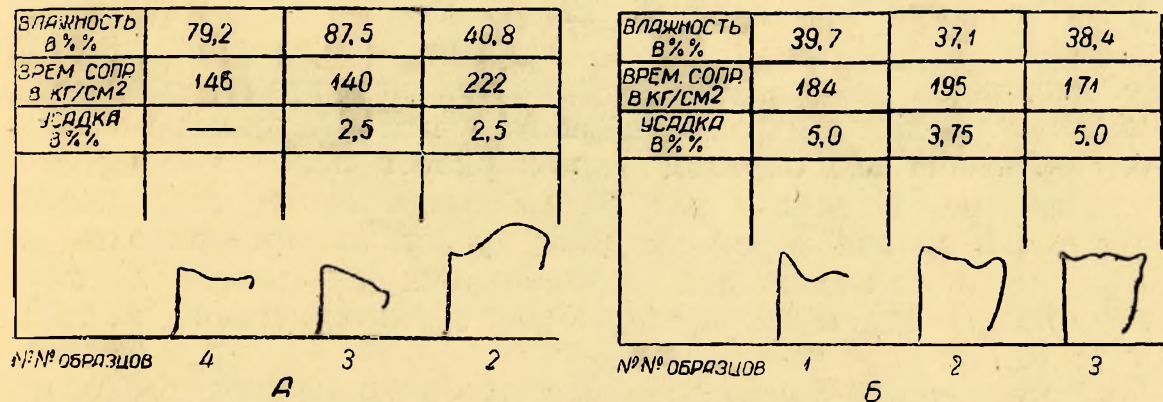


Рис. 5а. Диаграммы сжатия вдоль волокон еловых и сосновых (ядро) образцов, проваренных в течение 20 мин. при  $t = \infty 100^{\circ}\text{C}$ . А—ель, Б—сосна

для дуба и бука (рис. 4), для хвойных оказались непригодными, так как участок между  $D_{тр. пр.}$  и  $D_{вр. сопр.}$  получался весьма малый (деформация сжатия — 2—5 проц.). Это давало нам бесспорное указание на неспособность хвойных претерпевать необходимую деформацию при сжатии вдоль волокон (рис. 5 и 5а).



## VI. Влияние обработки древесины щелочью на деформацию сжатия вдоль волокон

Имея в виду сказанное, в качестве дальнейшего этапа исследования мы применили химический метод обработки древесины, т. е. имелось в виду вызвать деформацию сжатия путем частичного раздревеснения (делигнификации) клеточных стенок с целью сделать древесину более податливой. Однако и такая обработка, как и следовало ожидать, дала также отрицательный результат, так как, хотя деформации сжатия и получились значительными по абсолютной величине (рис. 6) и приближались к деформациям сжатия у бука, однако они оказывались неустойчивыми, т. е. древесина теряла оптимум упругих сил при сжатии, в чем мы немедленно убедились при загибе делигнифицированной древесины.

Если за меру способности древесины воспринимать деформации считать работу при деформации, т. е.

$$\int_{\text{пр. пр.}}^{\text{вр. сопр.}} \sigma dE, \text{ где}$$

$E$ —деформация и  $\sigma$ —напряжение при сжатии вдоль волокон, то способность древесины, претерпевать деформации при гнутье, т. е. так сказать «гибкость» древесины автор считает возможным охарактеризовать совокупностью двух показателей: 1) отношением «пластической деформации»  $E_1$  (в процентах), в границах от предела пропорциональности до временного сопротивления, к работе при деформации:

$$L = \frac{E_1}{\int_{\text{пр. пр.}}^{\text{вр. сопр.}} \sigma dE},$$

т. е. величиной деформации в процентах на единицу работы (в указанных пределах), 2) коэффициентом полноты диаграммы  $\gamma$ , который известным образом характеризует положение кривой на диаграмме. Оценивая результаты проведенных экспериментов с точки зрения характеристики древесины претерпевать загиб и, приняв за эталон для сравнения бук (см. диаграмму сжатия на рис. 4), будем иметь следующие характеристики (см. табл. на стр. 16).

Из приведенных данных следует, что ни одна из исследованных хвойных пород при различных режимах предварительной обработки не дает характеристики, приближающейся к характеристике бука. Необходимо отметить, что характеристики, полученные нами для делигнифицированной ели или сосны, весьма специфичны: они получились в результате обнаружившегося градиента делигнификации, так как внешние слои древесины после обработки  $\text{NaOH}$  оказывались более податливыми, чем нижележащие, вследствие чего продольный изгиб (при сжатии) внешних слоев наступал раньше, чем внутренних, и материал приобретал резко выраженную анизотропность. В итоге формально



ВЛАЖНОСТЬ В %	26,8	—	24,7
ВРЕМ. СОПР В КГ/СМ <sup>2</sup>	301	322	318
УСАДКА В %	30,0	30,0	37,5

№№ ОБРАЗЦОВ 1 2 3 и т.д.  
А

ВЛАЖНОСТЬ В %	26,1	27,1	26,6
ВРЕМ. СОПР В КГ/СМ <sup>2</sup>	339	321	334
УСАДКА В %	30,0	32,5	35,0

№№ ОБРАЗЦОВ 1 2 3 и т.д.  
Б

ВЛАЖНОСТЬ В %	28,5	26,5	25,7
ВРЕМ. СОПР В КГ/СМ <sup>2</sup>	335	352	367
УСАДКА В %	42,5	40,0	30,0

№№ ОБРАЗЦОВ 1 2 3 и т.д.  
В

ВЛАЖНОСТЬ В %	40,0	43,1	45,2
ВРЕМ. СОПР В КГ/СМ <sup>2</sup>	169,2	178,3	142,2
УСАДКА В %	12,5	22,5	20,0

№№ ОБРАЗЦОВ 5 4 3 и т.д.  
Г

ВЛАЖНОСТЬ В %	46,1	42,4	42,7
ВРЕМ. СОПР В КГ/СМ <sup>2</sup>	239,3	206,1	236,9
УСАДКА В %	37,5	40,6	47,5

№№ ОБРАЗЦОВ 4 5 3 и т.д.  
Д

ВЛАЖНОСТЬ В %	166,4	140,2	121,4
ВРЕМ. СОПР В КГ/СМ <sup>2</sup>	145,9	120,8	108,1
УСАДКА В %	17,5	10,0	5,0

№№ ОБРАЗЦОВ 5 4 2 и т.д.  
Е

Рис. 6. Диаграммы сжатия вдоль волокон образцов делигнифицированной древесины.  
 А — сосна (ядро), обработанная 1-проц. раствором  $NaOH$  в течение 20 мин. при  $t = \infty 20^\circ C$ ;  
 Б — ель, обработанная 1-проц. раствором  $NaOH$  в течение 20 мин. при  $t = \infty 20^\circ C$ .  
 В — ель, обработанная 1-проц. раствором  $NaOH$  в течение 20 мин. при  $t = \infty 20^\circ C$ .  
 Г — сосна (ядро), обработанная 5-проц. раствором  $NaOH$  в течение 20 мин. при  $t = \infty 100^\circ C$ .  
 Д — ель, обработанная 5-проц. раствором  $NaOH$  в течение 20 мин. при  $t = \infty 100^\circ C$ .  
 Е — сосна (оболонь), обработанная 1-проц. раствором  $NaOH$  в течение 20 мин. при  $t = \infty 100^\circ C$ .

Виды древесины	Обработка NaOH в течение 20 мин. при $T \approx 20^{\circ}\text{C}$ .			Обработка NaOH в течение 20 мин. при $T \approx 100^{\circ}\text{C}$		
	Концентрация раствора NaOH в процентах					
	1	3	5	1	3	5
Ель . . . . .	12,68 78,64	14,35 77,7	13,78 74,92	9,31 82,6	10,28 83,4	8,82 79,86
Сосна (ядро) . . . . .	16,96 83,7	17,0 82,9	21,72 79,96	9,21 87,1	9,45 85,52	9,23 85,2
Сосна (оболонь) . . . . .	12,1 97,9	15,42 89,2	19,82 93,44	—	—	—
Бук, обработанный водой при $T$ 100°C в течение 20 мин. . . . .	11,4 77,2	Натуральная древесина				
Береза—тот же режим обработки, что и для бука . . . . .	11,13 89,7					

П р и м е ч а н и е. В числителе показаны значения  $Z$ , а в знаменателе значения  $\gamma$ .

благоприятные характеристики по  $Z$  и  $\gamma$ , например, для ели, обработанной 1-проц. раствором едкого натра при температуре раствора  $20^{\circ}\text{C}$ , практически оказываются фиктивными, что подтвердилось, как указано выше, при загибе делигнифицированных реек (рис. 10).

## VII. Эксперименты по загибу

Не ограничиваясь снятием диаграмм сжатия вдоль волокон, мы поставили эксперименты по непосредственному загибу древесины. Для этой цели, по указанию автора, инженером А. А. Михайловским был сконструирован горизонтальный гнутарный станок обычного типа, но с торцовым упором и пружинным роликом с междозами оригинальной конструкции, изображенный на рис. 7 и 7а. В качестве предварительной принципиальной схемы гнутья было принято следующее:

1. Шина, участвующая при загибе бруска, должна только обеспечить подпор волокон с выпуклой стороны бруска, так как толщина шины при загибе не имеет значения. Необходимо лишь учесть, чтобы сечение шины было таким, чтобы она могла воспринять на себя величину сжимающей силы  $P$ , прикладываемой



в торец бруска, возбудителем которой является сама древесина при ее загибе: при этом  $P = \sigma b h$ , где  $\sigma$  — напряжение, возникающее в бруске,  $b$  — ширина,  $h$  — высота бруска. Как показал опыт, толщина стальной шины для нашего случая оказалась достаточной 0,8 мм.

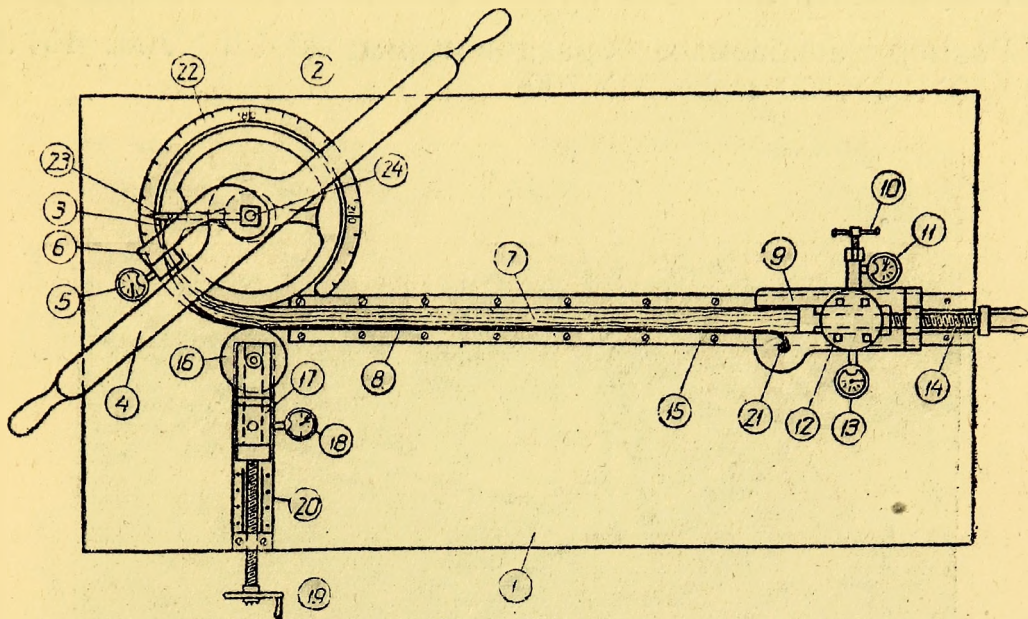


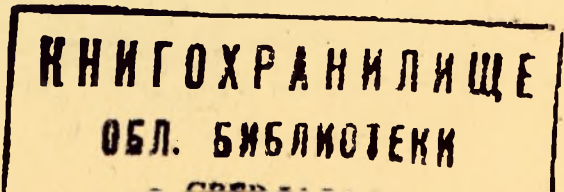
Рис. 7. Схематический чертеж лабораторного станка с мессдозами

#### Обозначения

1—Станина. 2—Шаблон. 3—Вырез для крепления шины. 4—Рукоятка. 5—Манометр. 6—Рычаг. 7—Рейка. 8—Шина. 9—Торцовый упор. 10—Винт Штуцера для выключения манометра (11). 11—Манометр. 12—Мессдоза торцового упора. 13—Манометр. 14—Винт торцового упора для изменения величины осевой силы. 15—Направляющее устройство для торцового упора. 16—Ролик. 17—Мессдоза. 18—Манометр. 19—Рукоятка. 20—Направляющее устройство. 21—Вырез для крепления шины. 22—Шкала. 23—Стрелка для шкалы (22). 24—Вал.

2. Наиболее эффективным методом смещения нейтральной оси к выпуклой части бруска, с целью перевода большинства волокон древесины при загибе на работу сжатия вдоль волокон, является применение торцового упора для обеспечения возникновения осевой силы. Р. Последняя, сжимая рейку, убавит напряжение растянутых волокон и увеличит напряжение сжатия. В результате при наличии изгибающего момента  $M_{max}$  и осевой силы  $P$  на вогнутой части бруска напряжения будут  $\sigma = -(\sigma_1 + \sigma_2) = -\left(\frac{M_{max}}{W_x} + \frac{P}{F}\right)$  и эпюра напряжений будет подобна изображенной на рис. 8-б<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> На выпуклой части напряжения соответственно будут  $\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 = \frac{M_{max}}{W_x} - \frac{P}{F}$ .





Оптимальная величина силы  $P$  устанавливается опытом.

3. Брусок при загибе должен плотно прилегать к шаблону.

4. Плоскость загиба (плоскость изгибающего момента) устанавливается опытом.

5. Скорость загиба  $= 12 \frac{\text{град.}}{\text{сек.}}$

6. Размер загибаемых образцов в мм:  $20 \times 20 \times 700$ ;  $15 \times 20 \times 700$ ;  $10 \times 20 \times 700$  и  $5 \times 20 \times 700$ .

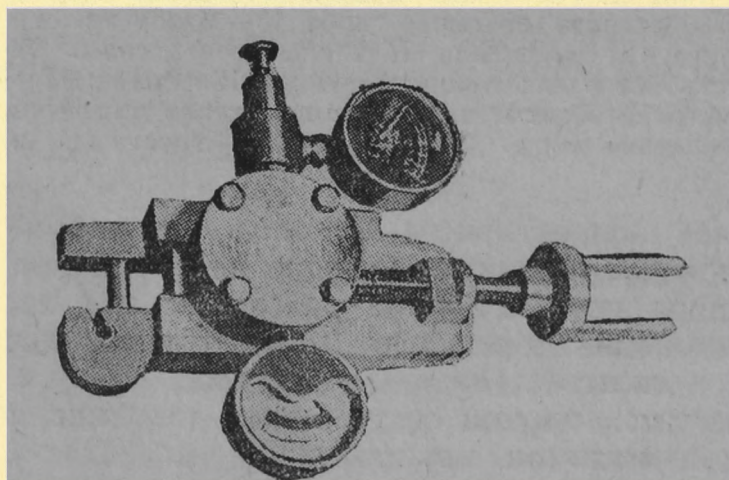
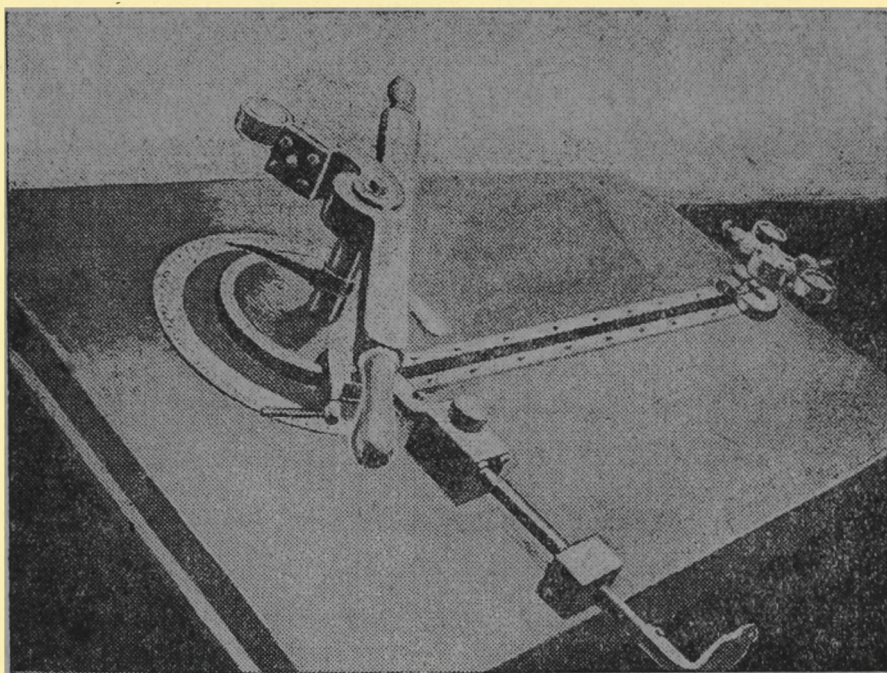


Рис. 7а. Фотография лабораторного гнута́рного станка с мессдозами (вверху — общий вид, внизу — торцовый упор с мессдозой)

7. Отношение  $\frac{h}{r} = \frac{1}{5}$  (являющееся характерным для царги венского гнутого стула);  $\frac{1}{7}$ , точнее  $\frac{3}{20}$ ;  $\frac{1}{10}$  и  $\frac{1}{20}$ .



В результате предварительных экспериментов по загибу натуральной древесины хвойных установлено: 1) при  $\frac{h}{r} = \frac{1}{5} - \frac{1}{10}$  загиб происходит с дефектами (жмотины, т. е. складки на вогнутой стороне, рис. 9), при  $\frac{h}{r} = \frac{1}{20}$  без дефекта; 2) плоскость должна быть радиальной.

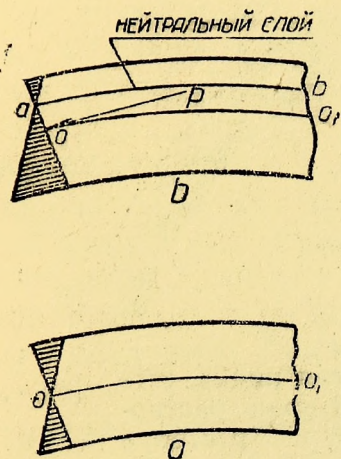


Рис. 8. Эпюра напряжений

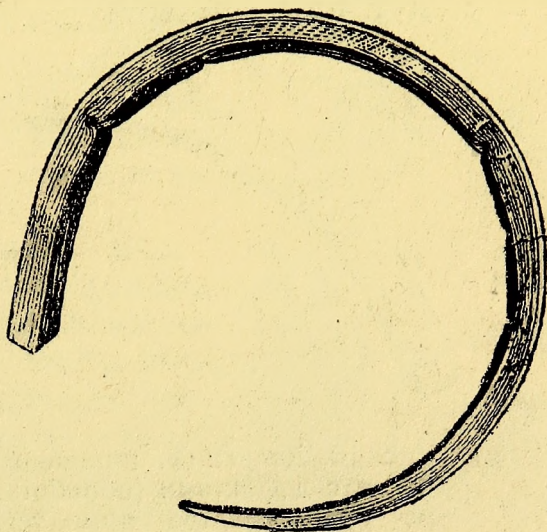


Рис. 9. Загнутая с дефектами (жмотины) натуральная еловая рейка (обработана перед загибом в воде при температуре  $\sim 100^\circ \text{C}$ )

Делигнифицированная древесина сосны или ели, несмотря на близкие характеристики (в частности для ели) кривых сжатия с таковыми же для бука, оказывается также неспособной претерпевать загиб при  $\frac{h}{r} = \frac{1}{5}$ , так как у нее деформации получаются весьма неустойчивые (рис. 10), хотя она и оказывается весьма податливой к загибу.

В итоге мы пришли к необходимости создания механического режима гнутья, т. е. к изысканию комплекса механических факторов, которые бы перекрывали влияние факторов, обусловливаемых биологической сущностью древесины.

Приведенная схема гнутья была подвергнута детальному изучению, и качество загиба было поставлено в зависимости от ряда факторов:

- 1) высоты бруска (отношение  $\frac{h}{r} = \frac{1}{5}$ ),
- 2) величины первоначального натяжения шины,
- 3) величины осевой силы  $P$ ,
- 4) величины бокового нажатия древесины роликом к шаблону,

- 5) скорости загиба,
- 6) числа годовых слоев,
- 7) направления годовых слоев к плоскости изгибающего момента,
- 8) места взятия загибаемого образца по высоте ствола.

При всех случаях режим предварительной обработки был принят один и тот же: обработка древесины в нагретой воде в течение 45 минут при температуре воды  $\sim 100^{\circ}\text{C}$ .

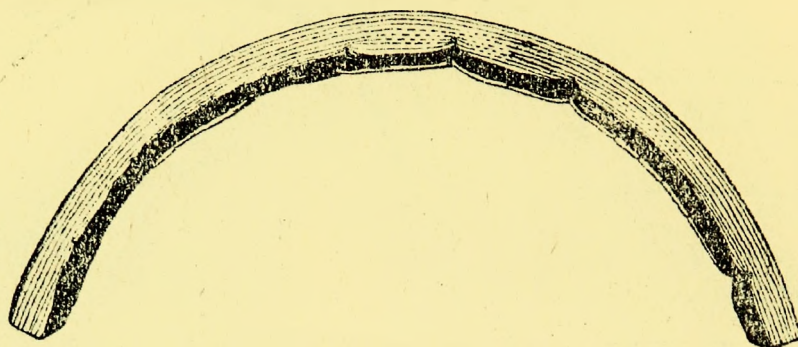


Рис. 10. Делигнифицированная еловая рейка, загнутая с дефектами (обработана в 1-проц. растворе едкого натра при температуре раствора  $\sim 100^{\circ}\text{C}$ )

Такая длительность обработки, как было установлено на основе специального эксперимента, обеспечивала наиболее эффективное воздействие и устойчивость его влияния на период совершения загиба. Следовательно, эта длительность была достаточна для того, чтобы привести древесину к оптимальной влажности и вместе с тем к оптимальному гидротермическому эффекту. При этом рейки предварительно подвергались намачиванию в воде комнатной температуры (в течение 48 час.). Начальная влажность реек была принята равной 15 проц.

В следующей таблице показано увеличение влажности в результате предварительной мочки реек и после проварки. В числителе показана влажность реек в процентах после мочки, а в знаменателе после последующей проварки.

Длительность намачивания (в часах)	Сосна-ядро	Сосна-оболонь	Ель
20	20,2	43	32,6
	33,4	48	33,6
48	34,4	32,5	39,2
	34,8	36,7	4,0



Как видно из этих данных, после 24 час. намачивания наибольшую влажность приобретают сосновые рейки из заболони, затем еловые и сосновые из ядра. После проварки в течение 45 мин. влагосодержание увеличивается и достигает цифры порядка 35—40 проц.

Из указанного следует, что не было надобности изыскивать для каждого данного вида древесины специфические условия предварительной обработки; некоторое же небольшое увеличение влажности выше оптимальной (согласно вышеуказанному  $\cong 30$  проп.), как показал опыт, на качество загиба особого влияния не оказывает.

При получении древесины влажностью выше 15—20 проц., она должна быть подвергнута сушке до влажности порядка 20 проц. с тем, чтобы после проваривания влагосодержание древесины достигло указанного выше оптимума.

В результате подробного анализа факторов загиба было установлено, что решающая роль принадлежит поперечному прижатию древесины к шаблону. Подробно исследуя в дальнейшем влияние этого фактора и увеличивая числовое его значение (для принятого размера реек—от 16 до 120 кг), автор пришел к идее прессования древесины поперек волокон в момент загиба силами, лежащими в плоскости изгибающего момента. При любых комбинациях указанных выше переменных, характеризующих режим загиба, применение большей величины прессующей силы неизменно сопровождалось и большим процентом реек, загнутых без дефекта.

Попутно, оценив результаты дальнейших экспериментов с применением прессующей силы  $P_1$  и заменив деревянные шаблоны для загиба металлическими (в частности алюминиевыми),— для увеличения трения между брусом и шаблоном, боковая поверхность шаблона со стороны сжатия была снабжена мелкими рифами, так чтобы бороздки рифления были расположены поперек боковой поверхности шаблона (рис. 11)<sup>1</sup>. Эффект от такого мероприятия еще в большей мере обеспечил полную

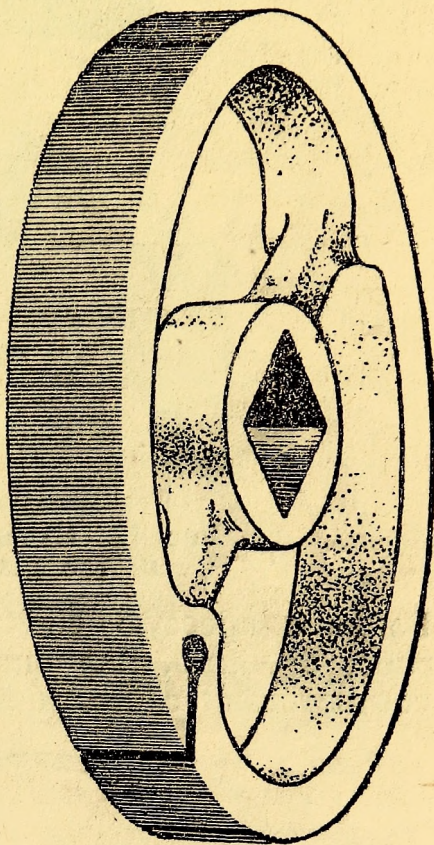


Рис. 11. Рифленый шаблон для загиба.

<sup>1</sup> Применение рифленых шаблонов было предложено инж. А. А. Андреевым.



бездефектность загиба. В результате исследования было установлено, что основная роль принадлежит: 1) прессующей силе  $P_1$ , направленной поперек волокна, 2) осевой силе  $P$ , направленной в торец бруска, 3) трению между загибаемым бруском и шаблоном и 4) воздействию рифов шаблона. Эти факторы должны быть строго регламентированы для каждой данной породы.

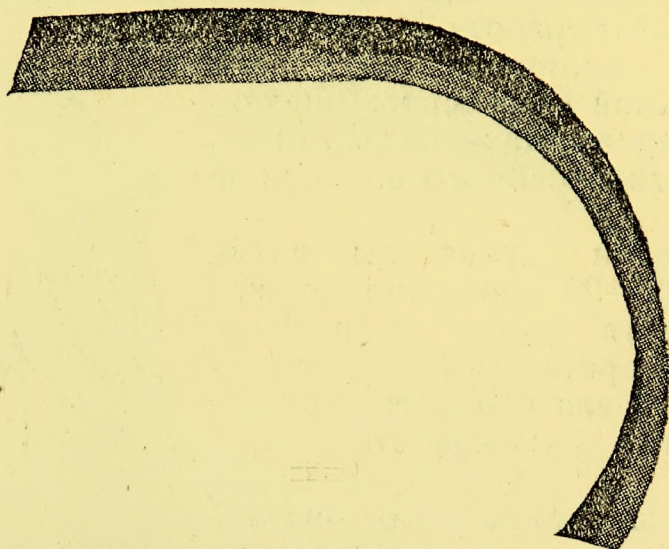


Рис. 12. Изменение размеров рейки в радиальном направлении после загиба с прессованием

Влияние прессующей силы  $P_1$ , как фактора бездефектного загиба, огромно. Величина этой силы должна устанавливаться в соответствии с объемным весом загибаемой древесины. Так, для

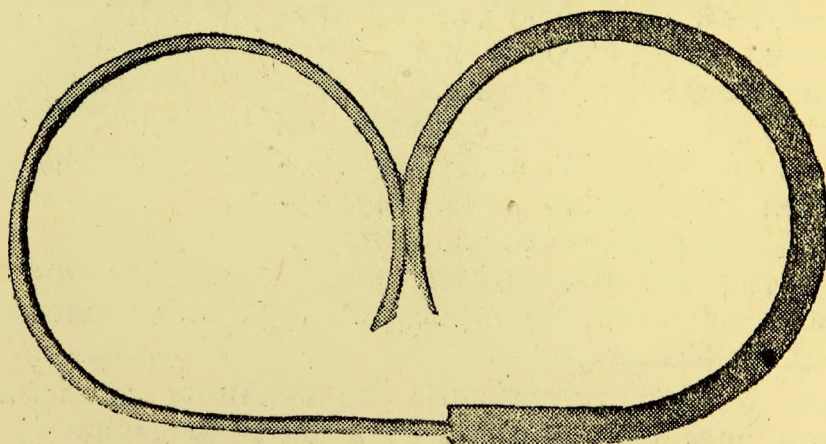


Рис. 12а. Загнутые без дефекта сосновые рейки

$$\text{при } \frac{h}{r} = 1/20 \text{ и } 1/5$$

ядра сосны величина прессования (т. е. уменьшение высоты загибаемого бруска по отношению к начальной его высоте до загиба) должна быть 30 проц., для оболочки сосны—35 проц., ели—40 проц., для пихты—50 проц., для лиственницы—20 проц., для березы—25 проц. и т. д.



Многие другие породы, с которыми мы имели возможность экспериментировать, загибались без дефекта. Рис. 12 иллюстрирует изменение размеров сосновой рейки в радиальном направлении при прессовании, рис. 12а — загнутые без дефекта при отношении  $\frac{h}{r} = \frac{1}{20}$  и  $\frac{1}{5}$  (рис. 12).

Введение в процесс гнутья прессования определяет такую совокупность взаимодействия факторов загиба, которая перекрывает природные свойства древесины.

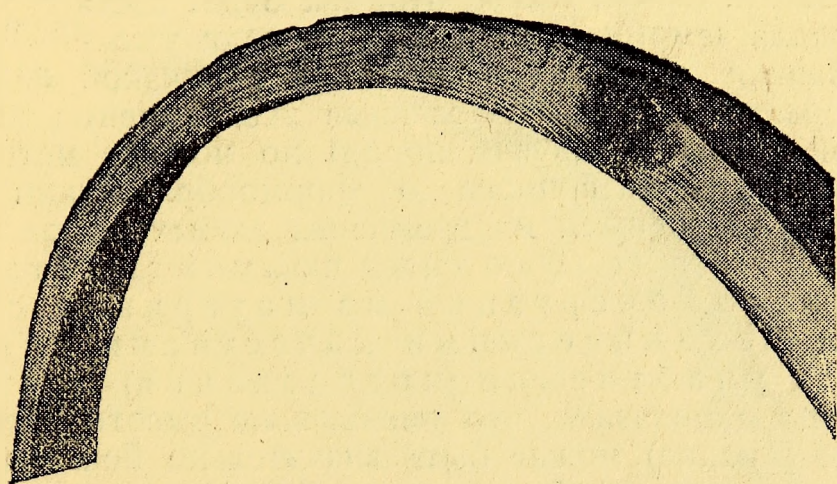


Рис. 13. Сучковатая рейка, загнутая без дефекта.

При применении нового метода загиба, который может быть охарактеризован как механический режим гнутья, природные свойства древесины, в противовес обычному методу гнутья, имеют уже подчиненное значение. Вследствие этого, как показали многочисленные эксперименты по загибу (свыше 1 000 реек), с одинаковым положительным эффектом загибается как старая, так и молодая древесина вне зависимости от места по высоте ствола и по диаметру и от условий роста. Наличие сучьев не является препятствием к совершению загиба, и даже в тех случаях, когда сучок занимал  $\sim 50$  проц. поперечного сечения рейки, удавалось проводить загиб без дефекта (рис. 13), что указывает на реальную возможность значительно расширить рамки существующих технических условий на приемку древесины для гнутья.

Из сказанного следует заключить, что прессование древесины поперек волокон является, конечно, не самоцелью, а лишь одним из важнейших факторов, решающих бездефектный загиб; при этом прессование древесины должно производиться в момент загиба в той точке, где брусок набегает на шаблон.

При обычных методах только прессования древесины перпендикулярно длине волокон брусок, имевший прямолинейную



форму до прессования, сохраняет ту же форму и после прессования.

У работников, занятых на таких производствах, естественно возникал вопрос о том, как получить сразу криволинейный профиль из прессованной древесины.

Предпринимавшиеся попытки в этом направлении по отношению к хвойным породам оказались неудачными. В частности на Брянском механическом заводе неудачно пытались загнуть сосну, применяя обычные приемы загиба (на двухстороннем гнутарном станке), а затем загнутую древесину прессовать.

Мы не имели случая наблюдать, как будет вести себя при загибе по предлагаемому нами новому методу уже предварительно прессованная сосна, да в этом и нет никакой надобности, так как проведенные многочисленные эксперименты по загибу натуральной сосны (и других пород) по новому методу дают эффективное решение вопроса о формообразовании деталей криволинейных профилей из древесины любых пород и в тех случаях, когда необходимо получить деталь криволинейного очертания из материала с повышенными механическими качествами специально за счет уплотнения (прессования) древесины.

Наши опыты показали, что уменьшение высоты загибаемого бруска (прессование) может быть значительно больше, чем это требуется для того, чтобы получить бездефектный загиб (например, 70 проц. от первоначальных размеров), причем качество загиба не ухудшается.

Для размеров рейки  $20 \times 20 \times 700$  мм значения отмеченных выше факторов загиба и крутящего момента найдены следующие:

№№ по пор	Порода Фактор	Ель	Сосна		Береза
			ядро	оболонь	
1	Усилие для поперечного прессования—кг . . . . .	120	120	120	160
2	Торцовое нажатие—кг . . . . .	150	180	160	220
3	Крутящий момент кг/м . . . . .	19	19	19	25

Наряду с огромным значением прессования древесины поперек волокон весьма важное значение приобретает осевая сила Р.

Как показывает опыт, при увеличении значения силы Р наблюдается и лучшее качество загиба в отношении поведения периферической (выпуклой) стороны рейки (в смысле отсутствия на



поверхности ее разрывов волокон). Поставленные наблюдения по загибу реек с применением поперечного прессования, но совершенно без участия натяжения шины (т. е. при отсутствии осевой силы  $P$ ), показали, что загиб совершается без всякого признака жмотин (рис. 14), что указывает на положительное влияние поперечного прессования древесины и в то же время загиб сопровождается неизбежным разрывом волокон на величину, превосходящую 50 проц. высоты рейки (излом).

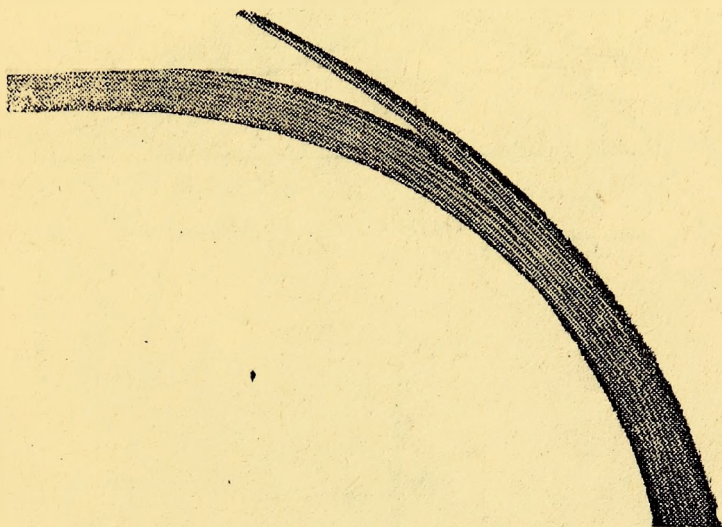


Рис. 14. Отсутствие жмотин при применении прессования поперек волокон и в то же время разрывы волокон на растянутые части бруска при загибе без применения торцового упора.

По мере увеличения угла загиба возрастает и величина осевой силы  $P$ , возбудителем которой является сама древесина. Как было отмечено, оптимум силы  $P$  должен быть найден в зависимости от высоты рейки и условий подготовки ее к загибу. Максимальное же значение силы  $P$ , близкой к пределу крепости древесины при сжатии вдоль волокон, ставит сама древесина, так как наступает момент, когда величина этой силы, начиная с угла загиба  $= 200—210^\circ$ , остается почти неизменной (рис. 15), что объясняется, вероятно, местным смятием древесины торца.

Первоначальное значение осевой силы  $P_2$ , т. е. начальное продольное нажатие на рейку, не оказывает влияния на качество загиба. Оно может быть выбрано таким, чтобы обеспечить только устранение деформаций самой шины путем ее натяжения, с целью удобства закрепления загибаемой рейки в торцовый упор и обеспечения достаточной величины трения между шиной и рейкой до начала загиба, с тем чтобы вызвать появление осевой силы  $P$  уже при самом незначительном увеличении угла загиба. В наших опытах для указанной цели величина  $P_2$  была принята  $= 8$  кг.

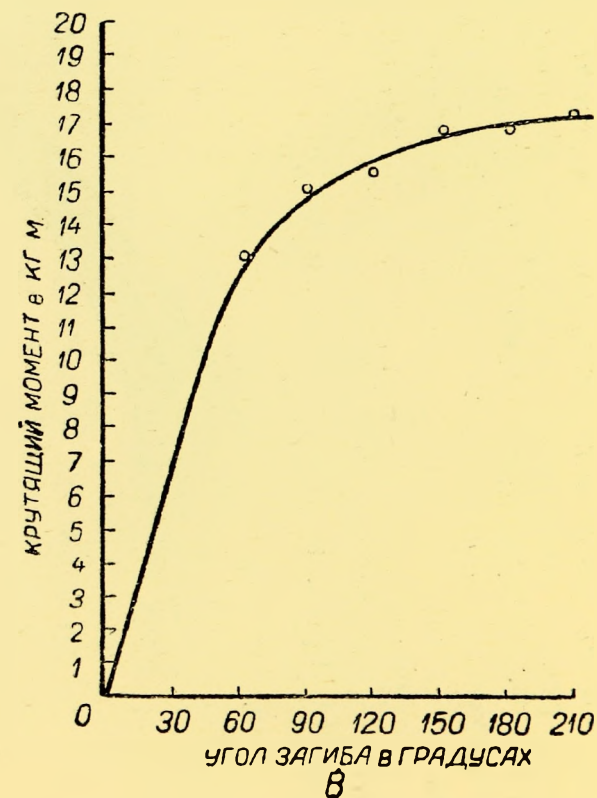
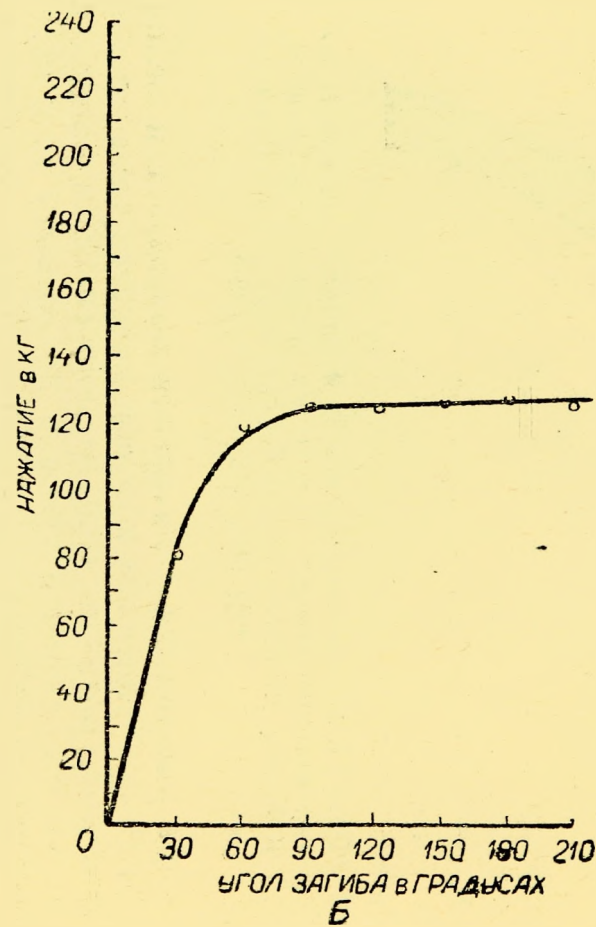
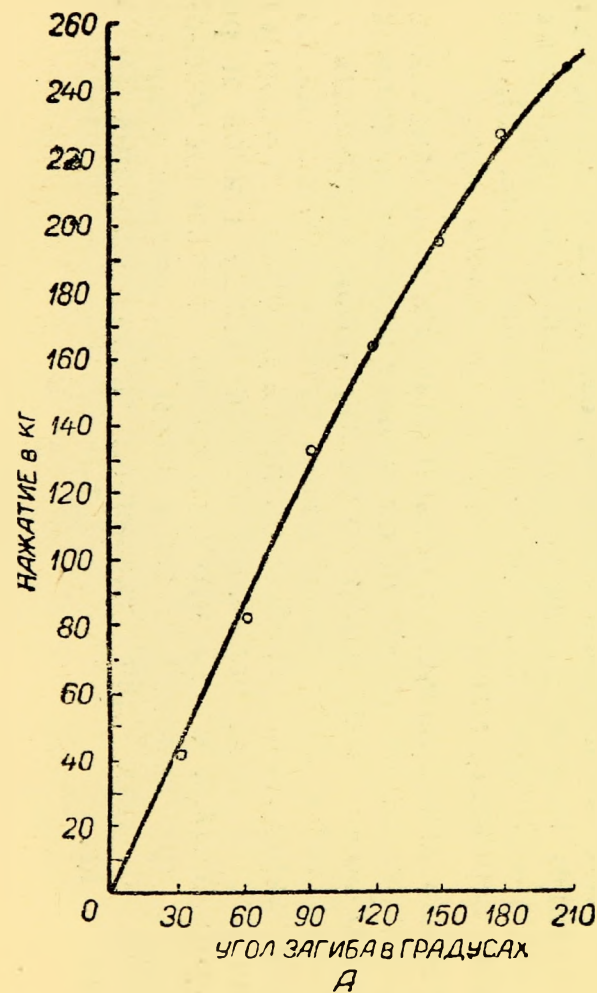


Рис. 15. Кривые изменения торцевого нажатия поперечного сжатия (прессования) и крутящего момента в зависимости от угла загиба. А — изменение торцевого нажатия, Б — изменение величины поперечного сжатия (прессования), В — изменение крутящего момента



Положение годовых слоев по отношению к оси вала станка имеет существенное значение для обеспечения бездефектного загиба. Для хвойных пород годовые слои в момент загиба должны быть параллельны оси вала, т. е. плоскость изгибающего момента должна быть направлена перпендикулярно годовым слоям (радиальный загиб, рис. 16).

При тангентальном загибе с боковых сторон рейки наблюдается характерное выпучивание в виде складок (рис. 17).

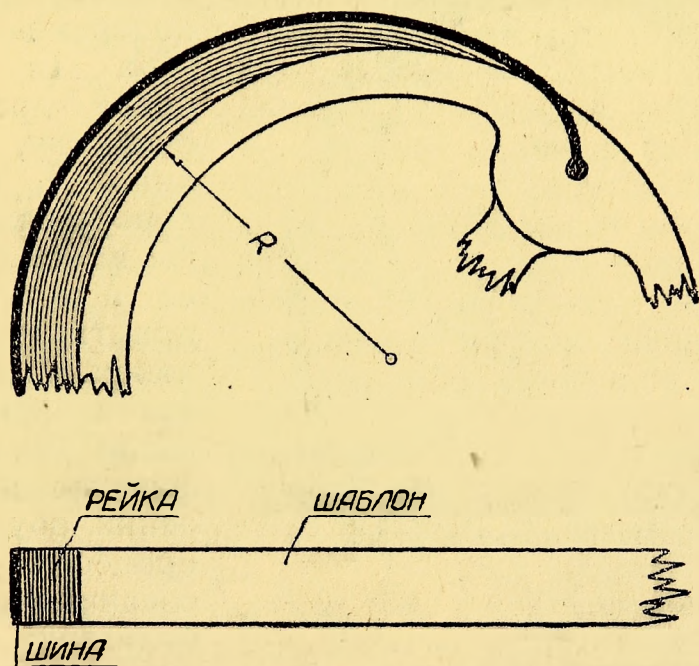


Рис. 16. Положение годовых слоев по отношению к оси вала станка, характеризующее радиальный загиб

Для загиба березы, наоборот, плоскость изгибающего момента должна быть направлена параллельно годовым слоям (тангентальный загиб).

Что касается влияния угла наклона годовых слоев, то последний, как показали наблюдения для хвойных, может достигать  $\sim 45^\circ$ . При дальнейшем же увеличении угла наклона наблюдается небольшое изменение поперечного сечения (переход из прямоугольного в трапециoidalное). Для таких случаев в качестве дальнейшего усовершенствования может быть применен шаблон с ограничителями (шаблон-матрица, рис. 18)<sup>1</sup>; это дает дополнительный подпор рейки с боковых сторон, и загибаемая рейка будет удерживаться от выпучивания вверх и вниз ограничителями А и Б.

Не безынтересно отметить, что изменение крутящего момента до угла загиба  $\sim 90^\circ$  носит строго прямолинейный характер,

<sup>1</sup> Идея применения шаблона-матрицы принадлежит проф. А. Х. Певцову.

в дальнейшем — увеличение крутящего момента идет плавно по некоторой кривой (рис. 15-В). Оптимальная скорость загиба была установлена  $6 \frac{\text{град.}}{\text{сек.}}$  (длительность—60 сек.).

Отметим, попутно, что в литературе по прессованию древесины мы встречаем утверждение, что различие между «гнущем» древесины (по старому методу) и прессованием прямолинейных брусков поперек волокон без загиба (и «пластификацией» древесины), по существу, заключается лишь в том, что при «прессовании» древесины имеет место сжатие ее поперек волокон, а при гнутье — вдоль волокон. На этом основании приводится ряд аналогий в объяснении физической природы явлений, обуславливающих процессы загиба и прессования, вплоть до стабилизации формы получаемого продукта (сушка и «закалка»), при пластификации древесины).

В силу соображений, изложенных выше, вряд ли есть надобность приводить особые доказательства того, что ни формально, ни по существу в обоих случаях нет

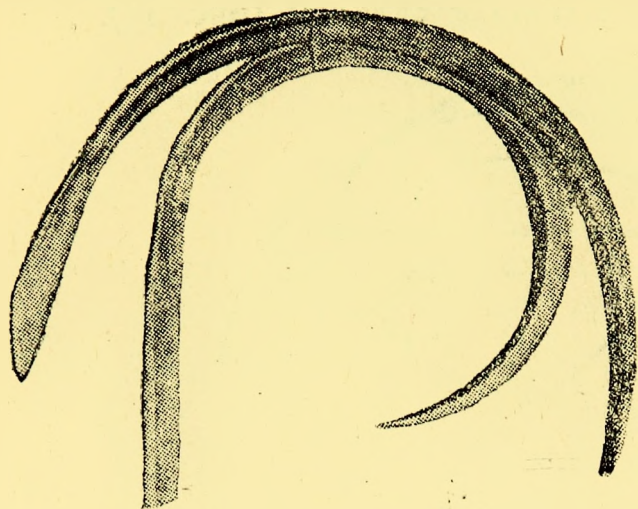


Рис. 17. Выпучивание древесины сосновой рейки при тангентальном загибе.

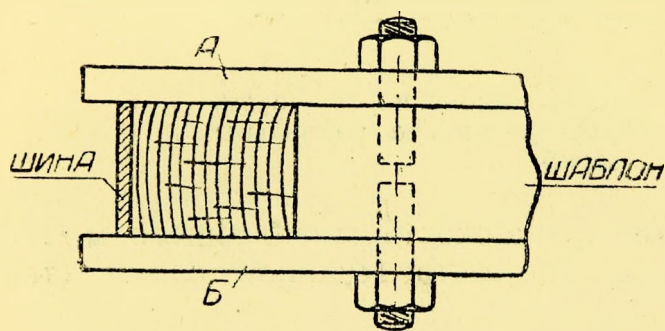


Рис. 18. Шаблон-матрица.

явлений одного и того же порядка. Об этом свидетельствует совокупность факторов, сопровождающих загиб и определяющих механизм перенесения нейтральной оси к выпуклой части загибаемого бруска, за исключением факта необходимости сообщения древесине податливости за счет снижения модуля жесткости.

При применении же при загибе одновременно прессования поперек волокна, процесс загиба принимает еще более усложненный характер, что видно из данных, приведенных в нижеследующей главе, в которой дается теоретическое обоснование нового метода гнутья.



## VIII. Теоретические обоснования нового метода гнутья древесины<sup>1</sup>

Попытки дать теоретические обоснования тем явлениям, которые происходят при гнутье древесины, весьма малочисленны, и все они весьма далеки от истины, с одной стороны, вследствие сложности самого явления, а с другой — вследствие различия свойств древесины в различных направлениях и непригодности обычных формул сопротивления материалов. Наиболее разработанной из этих теорий является теория, данная Проделем<sup>2</sup>, но и она является частным решением, изобилующим предпосылками, явно далекими от истины. Когда в работе лаборатории НЭКИНа при исследовании гнутья березы были сделаны попытки применить формулы Проделя к березе, взяв полученные данные опытов, то получились цифры, совершенно не соответствующие действительности. Чтобы показать, как много здесь произвола, упомянем еще о расчете толщины шины, предложенной в брошюре проф. Кротова и инж. Фишера «Гнутье мебельных деталей». Формула, предлагаемая здесь, выведена в предположении, что шина наглухо, без возможности какого-либо смещения, скреплена с поверхностью бруска. Между тем Продель всю свою теорию строит на диаметрально противоположном допущении, что «в процессе гнутья отдельные сечения бруска могут свободно перемещаться в отношении стальной полосы», и пренебрегает возникающей здесь силой трения.

Из этого сопоставления видно, что существующие теории не могут быть приняты для каких-либо «предсказаний» о том, будет или не будет данная порода гнуться достаточно удовлетворительно. В то же время есть целый ряд бесспорных положений, которые, хотя и не составляют в общей сложности, так сказать, «теории» гнутья, но тем не менее дают возможность осознать явления, происходящие в древесине при ее загибе с точки зрения предлагаемого нового метода гнутья. Ниже мы кратко излагаем эти положения.

Известно, что древесина, не подвергнутая никакой обработке (пропаркой или проваркой), разрушается при изгибе обычно от разрыва волокон на выпуклой части бруска, хотя сопротивление древесины растяжению вдоль волокон примерно вдвое больше, чем сопротивление сжатию в том же направлении. Это объясняется тем, что древесина при сжатии дает значительно большие деформации, чем при растяжении, благодаря чему (при гипотезе сохранения плоских сечений, которая, как показывает опыт, хорошо согласуется с действительностью) диаграмма напряжений получает вид, показанный на рис. 19-а. При этом нейтральная ось смещается в сторону растяжения, растягивающие напряжения сильно возрастают и приводят к разрушению материала. Если

<sup>1</sup> Эта глава написана проф. А. Х. Певцовым.

<sup>2</sup> А. Продель. «Гнутье древесины».



одновременно с изгибающим моментом к бруску будет приложена и продольная сжимающая сила, то эпюра напряжений получит вид показанный на рис. 19-б. Как видим, благодаря этому мы получим увеличение сжимающих напряжений и уменьшение растягивающих, причем часть этих последних будет воспринята шиной (сила  $Q$  на рис. 19). Из сказанного можно заключить, что

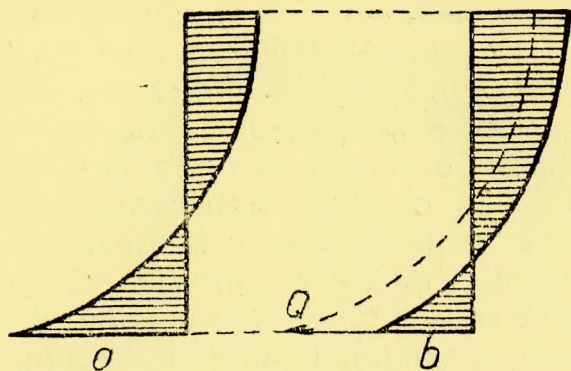


Рис. 19. Диаграмма напряжений

уже вследствие приложения продольного усилия можно улучшить условия загиба бруска.

Роль шины, применяемой при гнутье древесины, различные авторы оценивают по-разному. Одни считают, что она играет ту же роль, что арматура в железобетоне, воспринимая на себя все, или почти все, растягивающие напряжения. Это было бы верно,

если бы шина была скреплена с бруском наглухо. Однако такое положение ничем не доказано. Наоборот, по мнению других, к числу коих относится и Прodelь, можно совершенно пренебречь трением, развивающимся между шиной и бруском, и допустить скольжение шины по бруску. Несомненно, что истинное положение вещей будет где-то посередине между этими двумя противо-

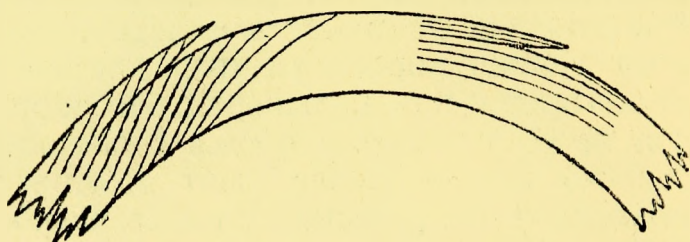


Рис. 20. Разрыв древесины поперек волокон

положными мнениями. Если это так, то ясно, что шина безусловно полезна, так как она воспринимает некоторую часть растягивающих напряжений и частично участвует в смещении нейтральной линии бруска к его выпуклой стороне. Далее, совершенно бесспорно, что шина дает опору тем волокнам бруска на растянутой его стороне, которые, при наличии угла их наклона к поверхности бруска или при разрыве некоторых из них, стремились бы, в силу своей упругости, распрямиться и тем самым вызывали бы разрыв древесины поперек волокон (рис. 20). Вместе с тем совершенно очевидно, что шина, получающая натяжение от торцового упора, обуславливает и некоторое спрессовывание бруска поперек волокон, что, как будет показано ниже, является также фактором, благоприятствующим бездефектному загибу.



Это положение легко видеть из рис. 21. Здесь  $S$  — шина,  $H$  — брусок,  $A$  — шаблон (в расчете принят, как часть окружности).

Вырезая из всей системы сектор с центральным углом  $\alpha^0$ , прикладывая к шине по концам отрезанной части силы  $Z$ , растягивающие ее, проектируя их на вертикальную ось, мы приходим к заключению, что шина оказывает давление на брусок. А так

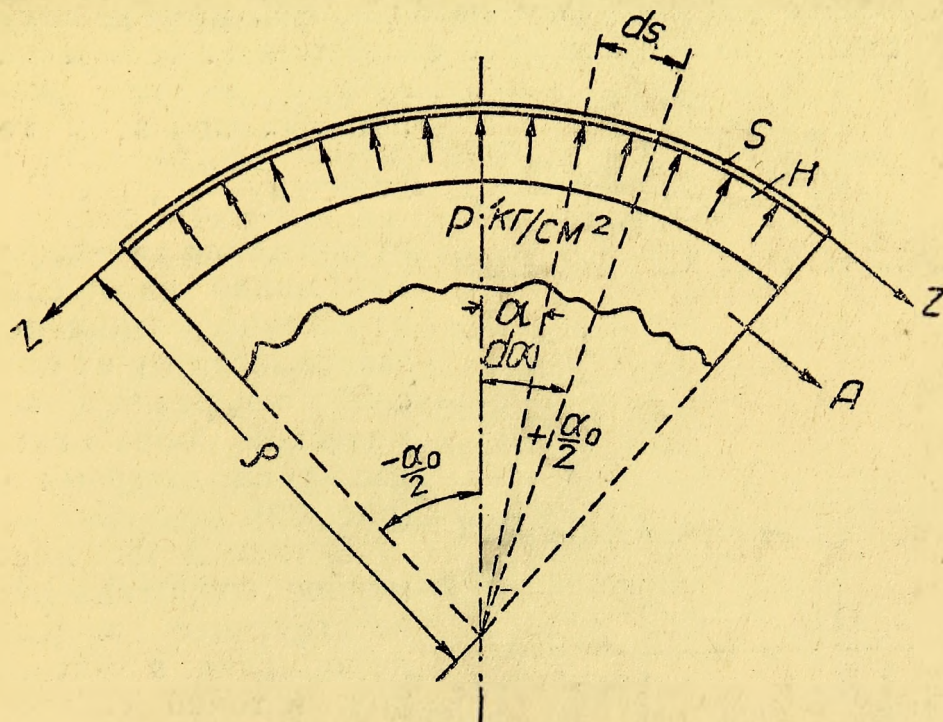


Рис. 21. Схема, иллюстрирующая работу шины

как шина соприкасается всеми точками с поверхностью бруска, то в случае отсутствия смещения шины по бруску, по его поверхности, получатся равномерно распределенные силы. Называя  $p$  — давление шины на брусок,  $b$  — ширина шины и бруска (перпендикулярно к плоскости чертежа), имеем из условия равновесия  $ds = p \cdot d\alpha$ ;

$$\int_{-\frac{\alpha_0}{2}}^{+\frac{\alpha_0}{2}} pb \, ds \, \cos \alpha - 2 Z \sin \frac{\alpha_0}{2} = 0$$

(сумма проекций действующих сил на вертикальную ось),

откуда  $p = \frac{Z}{b\rho}$ .

Это давление парализует растягивающие напряжения, возникающие в древесине поперек волокон (см. рис. 20).

Таким образом шина во всех случаях может обеспечить нам отсутствие отщепов и разрывов на выпуклой части бруска.



Совершенно иного рода явления имеют место на вогнутой стороне бруска. Под воздействием гидротермической обработки древесина оказывается в состоянии получать при сжатии весьма большие деформации при малых изменениях силы. На величину деформаций растяжения гидротермическая обработка оказывает очень малое влияние. При сжатии в пропаренной или проваренной древесине мы получаем явление, аналогичное текучести в мягкой стали, что теоретически соответствует весьма малой величине модуля жесткости, понимая под этим термином величину  $\frac{dP}{d\lambda}$ , где  $P$  — действующая сила и  $\lambda$  — деформация.

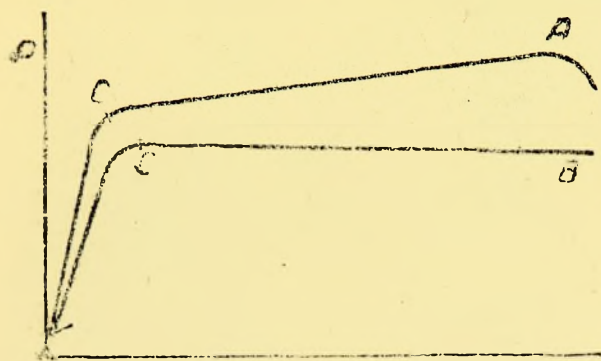


Рис. 22. Диаграмма сжатия

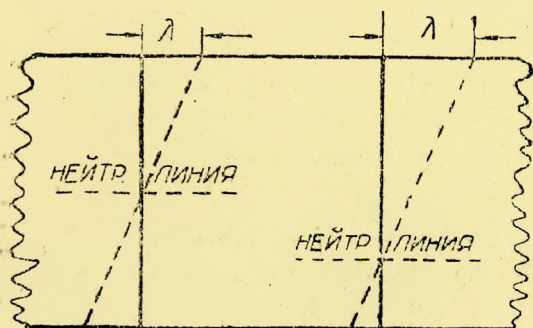


Рис. 22а. Эпюра напряжений

а тип В — отрицательную (кривая от С к В идет вниз). Несомненно, что в породах типа В при переходе за точку С мы имеем уже на материале следы разрушения, выражающиеся в сдвигах или складках.

Гидравлическая обработка древесины, предназначенной для гнутья, необходима, так как при наличии шины (и осевой силы), как мы видели из предыдущего изложения, нейтральная линия смещается весьма сильно к выпуклой части (рис. 22а). Если бы древесине не была обеспечена возможность выдерживать эти деформации, то она разрушилась бы от сжатия ранее, чем было бы использовано ее сопротивление растяжению.

Однако наряду с этим положительным действием гидротермической обработки, имеются и вредные последствия ее, обусловленные высокой степенью податливости материала. Эти вред-

В типе А мы имеем временное сопротивление, соответствующее максимальной деформации; в типе В, наоборот, в точке С достигается предельное сопротивление, и только начиная с этого момента получают большие деформации. В типе А точка С соответствует пределу текучести металлов. Условно можно сказать, что А имеет положительную текучесть (кривая от С к А идет кверху),



ные последствия выражаются в образовании складок, или так называемых «жмотин», на выгнутой поверхности бруска (рис. 9).

Для уяснения этого явления рассмотрим следующий пример. Выделим из стержня длиной  $l$ , сжатого силой  $P$ , одно волокно площадью  $\Delta F$  (рис. 23). Считая его совершенно свободным и независимым от смежных волокон, мы можем подсчитать ту критическую силу  $D_{кр.}$ , которая вызовет продольный изгиб этого волокна. Для этого следует применить обычную формулу Эйлера:  $\frac{\pi^2 EJ}{l^2} = D_{кр.}$ , где  $E$  —

модуль жесткости материала,  $\Delta I$  — минимальный момент инерции поперечного сечения волокна.

Необходимо теперь же отметить, что все эти рассуждения являются лишь схемой, предназначенной иллюстрировать данное явление и что в действительности дело обстоит несравненно сложнее.

Далее, назовем степень устойчивости элемента отношение  $\frac{D}{D_{кр.}}$ , где  $D$  — фактически приходящаяся на него сила сжатия.

В стержне, сжатом центральной силой, с известной степенью приближения все элементы можно считать одинаково устойчивыми, если материал вполне однороден.

Представим себе теперь тот же стержень (рис. 23), но подвергнутый действию изгибающего момента и продольной центральной силы, т. е. тем видам воздействия, которые имеют место при гнутье.

В этом случае наибольшие напряжения будут иметь место в крайних волокнах бруска и по мере удаления внутрь его они становятся все меньше и меньше и, наконец, на нейтральной оси равны нулю. Считая, что все волокна имеют одну и ту же площадь сечения  $\Delta F$  мы приходим к выводу, что степень устойчивости волокон не одинакова. Наименьшая устойчивость будет у крайних волокон и максимальная — у волокон на нейтральной оси. Естественно, что нарушение устойчивости начнется на внутренней (вогнутой) стороне бруска; волокно даст здесь местный изгиб, направленный своей выпуклостью конечно в сторону нейтральной оси. Если изгиб происходит в тангентальной плоскости, то этому будет способствовать начальный эксцентриситет у волокон, огибающих сердцевинные лучи (рис. 24).

Однако волокно не является вполне свободным и независимым в своих действиях от соседних волокон. Стремление крайних волокон изогнуться внутрь бруска встречает сопротивление

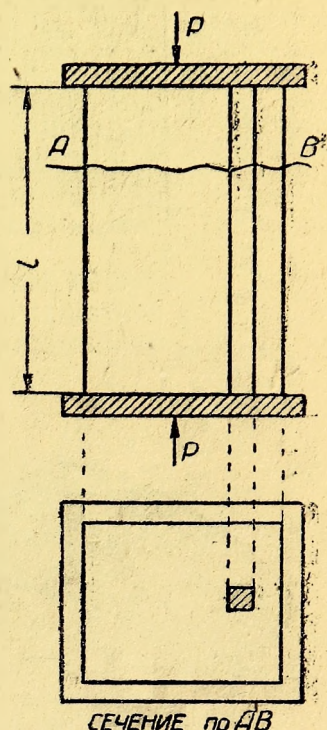


Рис. 23. Схема, поясняющая характер устойчивости стержня в упругой среде



ближайших волокон, которые также имеют очень малую степень устойчивости, вследствие чего и они получают деформацию изгиба. Эти последние точно так же действуют на смежные с ними внутренние и т. д. Таким

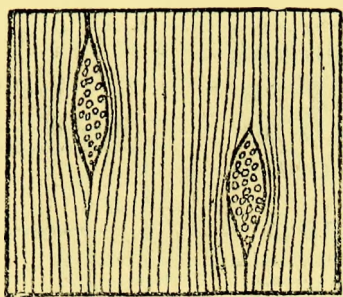


Рис. 24. Начальный эксцентриситет у волокон, изгибающих сердцевинные лучи.

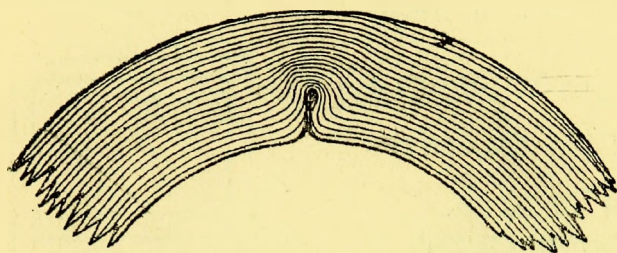


Рис. 25. Образование жмотин.

образом изгиб волокон, начавшийся на периферии бруска, распространяется внутрь, причем, однако, каждое последующее волокно, обладая все большей и большей степенью устойчивости, дает постепенно затухающую деформацию. Благодаря увеличению устойчивости по мере перемещения к нейтральной оси внутренние волокна дают, так сказать, опору внешним волокнам, что до известной степени аналогично действию шины на внешней растянутой стороне бруска.

В результате вышеописанного нарушения устойчивости волокон и получают упомянутые ранее «жмотины» (рис. 25).

Рассмотрим факторы, способствующие образованию складок. Из вышеприведенной формулы Эйлера видно, что потеря устойчивости наступит тем скорее, чем меньше модуль жесткости материала. Между тем именно гидротермическая обработка дает весьма значительное понижение его величины.

Отсюда можно сделать вывод, что излишнее пропаривание или проваривание древесины может быть вредно для хорошего загиба. Так как при обычном сжатии вдоль волокон (в кубиках или в невысоких призмах) все-таки имеет место нарушение устойчивости волокон, то можно считать, что величина временного сопротивления сжатию является показателем устойчивости древесины по отношению к образованию складок.

Далее имеет значение структура древесины, в частности, как было указано выше, начальный эксцентриситет волокон при загибе в тангентальной плоскости. Вполне очевидно также, что при прочих равных условиях складка образуется тем легче, чем меньшее сопротивление встречают наружные волокна вмятию их внутрь, что может быть оценено по сопротивлению древесины смятию поперек волокон. На это обстоятельство до сих пор еще не было обращено должного внимания.



Из предыдущего описания процесса образования складок с полной отчетливостью и поразительной простотой находит себе обоснование способ устранения этого недостатка путем применения поперечного прессования бруска во время сгибания. Ясно, что производить это прессование необходимо в том именно месте, где происходит набегание бруска на шаблон. Возникающее при этом нажатие соседних волокон на данное рассматриваемое волокно обуславливает стеснение свободы перемещения последнего в поперечном направлении. Правда, и при гнутье бруска без прессования каждое волокно, как мы видели выше, испытывает подпор со стороны смежных волокон, но коэффициент жесткости среды  $K$ , т. е. величина силы, потребная для деформирования единицы его длины в поперечном направлении на данную величину, в этом случае будет значительно менее, чем при наличии прессования. Рассмотрим следующую схему.

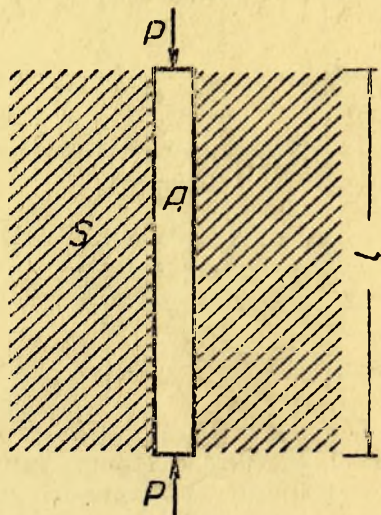


Рис. 26. Положение стержня в упругой среде.

Пусть стержень А, находящийся в упругой среде  $S$ , имеющей коэффициент жесткости  $K$ , испытывает продольное сжатие (рис. 26). Тогда, как известно<sup>1</sup>, для определения критической нагрузки  $P_{кр}$  можно пользоваться обычной формулой Эйлера:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2},$$

где коэффициент длины  $\mu$  определяется по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{m^2 + \frac{16 B^2}{m^2 \pi^4}}} \text{ и } B^2 = \frac{Kl^4}{16 EI},$$

где:  $EI$ — жесткость стержня,  $m$ —некоторое целое число, характеризующее вид деформации стержня (см. ниже).

Из рассмотрения этих формул с полной очевидностью вытекает, что с увеличением коэффициента  $K$ , т. е. сопротивления среды, величина критической силы, обуславливающей начальный момент образования складок, увеличивается. Иначе говоря, надлежащим подбором величины  $K$ , зависящей от степени нажатия, т. е. прессования, в момент гнутья можно избежать образования складок.

Не лишним будет отметить здесь и то, что с уменьшением модуля жесткости материала стержня критическая сила будет достигнута быстрее. Это еще раз указывает на нежелательность высоких степеней гидротермической обработки.

<sup>1</sup> См. Тимошенко «Курс сопротивления материалов». Изд. 2, 1913, стр. 449.



Как показывает математический анализ явления продольного изгиба стержня в упругой среде, этот стержень может получить деформацию в виде одной, двух, трех и т. д. волн (рис. 27) вели-

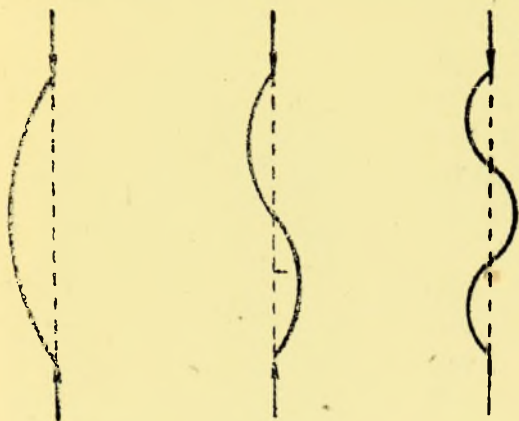


Рис. 27. Виды деформации стержня при продольном изгибе

чина  $m$  в предыдущих формулах и обозначает число полуволн, получающихся при нарушении устойчивости стержня. Так как  $B^2 = \frac{\pi^4}{16} m^2 (m+1)^2 = \frac{K \cdot l^4}{16 \cdot EJ}$ , то ясно, что с увеличением  $K$  увеличивается и  $m$ . Иначе говоря, надлежащей степенью поперечного прессования можно получить в материале вместо вредных, глубоких складок, образующихся обычно в небольшом числе, большое число малых извилин волокон, не вредных и почти не заметных для глаза. Наличие этих извилин легко

видеть на рейках из хвойных пород, гнутых в радиальной плоскости с применением поперечного прессования (рис. 27а).

Образование складок происходит весьма интенсивно в древесине, дающей диаграмму сжатия типа В (см. рис. 22). Тем не менее этот вид диаграммы при применении нового метода гнутья вовсе не указывает на то, что такая древесина непригодна для загиба. Это с полной очевидностью вытекает из вышеуказанного. Для успешного загиба такой древесины, очевидно, следует увеличить степень поперечного прессования и смягчить режим гидротермической обработки.

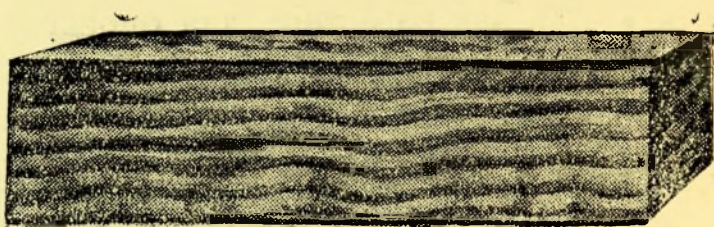


Рис. 27а. Извилины волокон, заметные на радиальной плоскости гнуто-прессованного соснового бруска

Образование складок всегда сопряжено с втягиванием древесины внутрь складки, что, вероятно, влечет за собой скольжение бруска по шаблону. Если увеличить коэффициент трения бруска по шаблону, то, очевидно, втягивание древесины будет затруднено, и складка или не образуется совсем, или же получится значительно меньше. Увеличение трения в предлагаемом методе гнутья, как выше указано, достигается нанесением на поверхность шаблона мелких насечек (рифления), перпендикулярных к его плоскости. Положительная роль рифления может быть объяснена также тем, что внутренние волокна должны получить большое укорочение, превышающее те деформации, которые при-



суши древесине при возникающих в ней во время гнущья напряжениях. Излишек длины крайних волокон бруска должен быть также отнесен к числу прочих причин, обуславливающих появление складок. Между тем, рифление, впRESSовываясь в поверхность бруска, дает ничтожно малые волны, совершенно безвредные для материала, и тем, так сказать, «рассасывает» избыток длины волокон по всей длине бруска, так как длина волнистой линии АВ (рис. 28) больше длины прямой линии CD, взятой на том же протяжении.

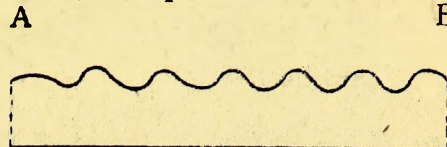


Рис. 28. Рифленая поверхность больше (длиннее) прямой, взятой на том же протяжении.

Дальнейшим усовершенствованием процесса является применение указанных выше шаблонов матриц (см. рис. 18), в которых брусок удерживается от выпирания вверх и вниз краинами А и В, вследствие чего создается дополнительный подпор волокон и сводится к минимуму обработка бруска после гнущья (для прямоугольных сечений).

Как видно из всего вышеизложенного, применение прессования во время гнущья всегда может обеспечить загиб бруска без образования складок, что в еще большей мере достигается одновременно с прессованием и применением шаблонов с рифленой поверхностью. В то же время легко себе представить, что результат будет одинаково благоприятный, независимо от размеров изгибаемого бруска; следует лишь правильно выбрать степень поперечного сжатия (прессования). Таким образом, задача гнущья древесины может считаться решенной окончательно.

## IX. Сушка гнуто-прессованной древесины

После загиба полученный продукт, который может быть назван «гнуто-прессованной» древесиной, подвергался дальнейшим операциям, имевшим целью высушить древесину до равновесной влажности в соответствии с условиями среды, в которых она будет работать, и стабилизировать форму изделия. Мы применяем в этом случае, — что имеет место в различных производствах гнутых изделий из древесины, — обычную ее сушку до 8—9 проц. влажности, но при мягких режимах, обычных для хвойных пород — для материалов ответственного назначения. В дальнейшем на вопросах стабилизации формы мы еще остановимся.

## X. Физико-механические свойства гнуто-прессованной древесины

Поскольку при применении нового метода гнущья древесина подвергается воздействию комплекса механических факторов, естественно ожидать изменения ее физико-механических свойств по сравнению с натуральной древесиной (до загиба).



Изменение свойств было прослежено на специально отобранных рейках из древесины ели, сосны и березы. Сперва из каждой рейки изготавливались образцы древесины в ее естественном

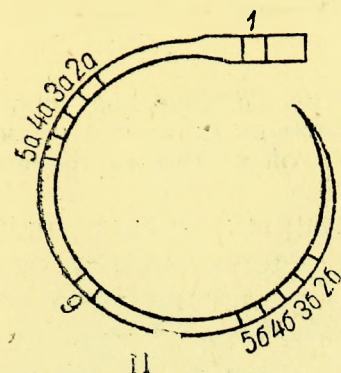
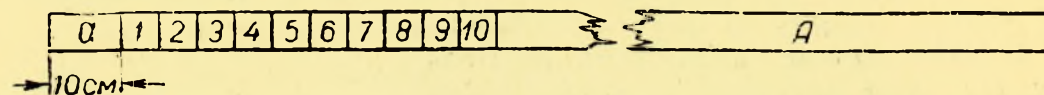


Рис. 29. Схемы разделки гнuto-прессованной древесины для испытаний физико-механических свойств. Схема I: а — отброс; 1, 2, 3 и т. д. — образцы (часть рейки «А» употреблялась для гнута); схема II: 1—образец для испытания сжатия вдоль волокон; 2а и 2б—образцы на сжатие вдоль волокон; 3а и 3б — образцы для объемного веса; 4а и 4б — образцы для гигроскопичности; 5а и 5б — образцы для влагопоглощения; 6 — образец ударной твердости

состоянии для испытания. Затем оставшаяся часть «А» (схема I, рис. 39) подвергалась загибу, после чего из середины каждой загнутой рейки (по длине) изготавливались образцы для испытания.

Исследованию подвергались: объемный вес, объемная и линейная (радиальная и тангентальная) усушка, разбухание, гигроскопичность, влагопоглощение, сопротивление сжатию вдоль волокон и ударная твердость по Певцову. Все испытания были проведены применительно к методу малых чистых образцов, являющемуся в настоящее время стандартным (ОСТ 7653). Всего было испытано 100 образцов. Кроме того, были поставлены специальные исследования упругих свойств гнuto-прессованной древесины сосны. Результаты исследования приведены в след. таблице:

Порода и род древесины	Объемный вес при 15 проц. влажности	Коэффициент объемной усушки	Гигроскопичность (увеличение веса в проц. после 24 суток)	Влагоемкость (увеличение веса в проц. после 13 суток)
Ель в естественном состоянии . . .	0,39 ± 0,066	0,41 ± 0,02	11,0	122,8
Ель гнuto-прессованная . . . . .	0,55 ± 0,019	0,73 ± 0,03	27,6	175,2
Сосна в естественном состоянии . .	0,65 ± 0,004	0,40 ± 0,014	14,2	69,6
Сосна гнuto-прессованная . . . . .	0,77 ± 0,013	0,81 ± 0,024	22,7	95,6

Из рассмотрения приведенных в таблице цифр вытекает следующее:

1. Для соответствующей величины прессования объемный вес увеличивается у ели на 41 проц. и у сосны на 18,5 проц.

2. Объемная усушка у гнuto-прессованной древесины почти вдвое больше, чем у натуральной древесины тех же пород. Такое увеличение усушки является неизбежным следствием увеличившегося количества древесинного вещества в единице объема и вполне согласуется с поведением в этом отношении натуральной древесины других пород, обладающих большим объемным весом.

Последнее подтверждается, например, следующими данными:

П о р о д ы	Объемный вес при 15 проц. влажности	Коэффициент объемной усушки
Сосна гнuto-прессованная . . . . .	0,75	0,81
Береза (из Горьковского края, модель № 3) . . . . .	0,76	0,84
Лиственница (с Южного Урала) . .	0,739	0,67
Среднее для двух пробных площадей.	0,723	0,66

3. Гигроскопичность натуральной еловой древесины ниже, чем у сосны, а у гнuto-прессованной — наоборот. Поэтому, как видно из диаграммы, помещенной на рис. 30, поглощение влаги

Разбухание при поглощении влаги в силу гигроскопичности (в проц.)			Разбухание при поглощении влаги в силу влагопоглощения (в проц.)			Временное сопротивление сжатию вдоль волокон при 15 проц. влажности	Ударная твердость чр мм²
объемное	радиальное	тангентальное	объемное	радиальное	тангентальное		
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
6,1	2,1	3,7	8,0	3,1	4,1	478 ± 11	518 ± 12
25,0	19,6	1,6	44,7	27,6	7,3	431 ± 20	759 ± 11



из окружающего воздуха гнuto-прессованной древесины, сосны и ели происходит весьма интенсивно в течение первых 24 час., после чего прирост влажности резко замедляется и по истечении

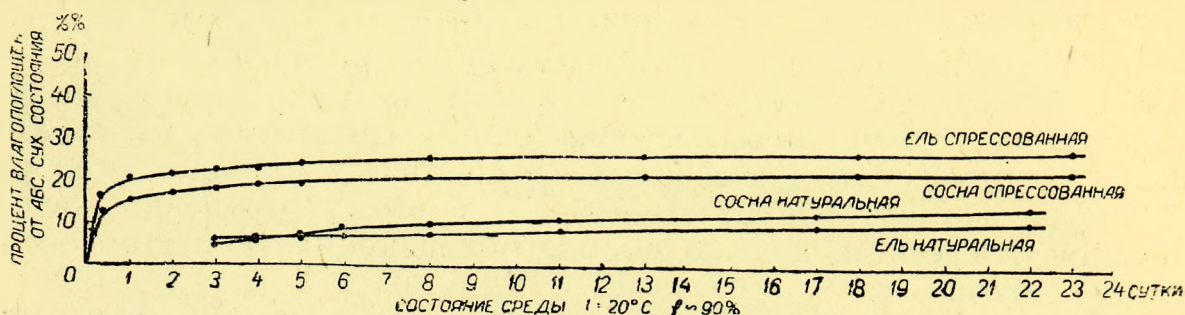


Рис 30. Кривые, характеризующие гигроскопичность натуральной и гнuto-прессованной древесины.

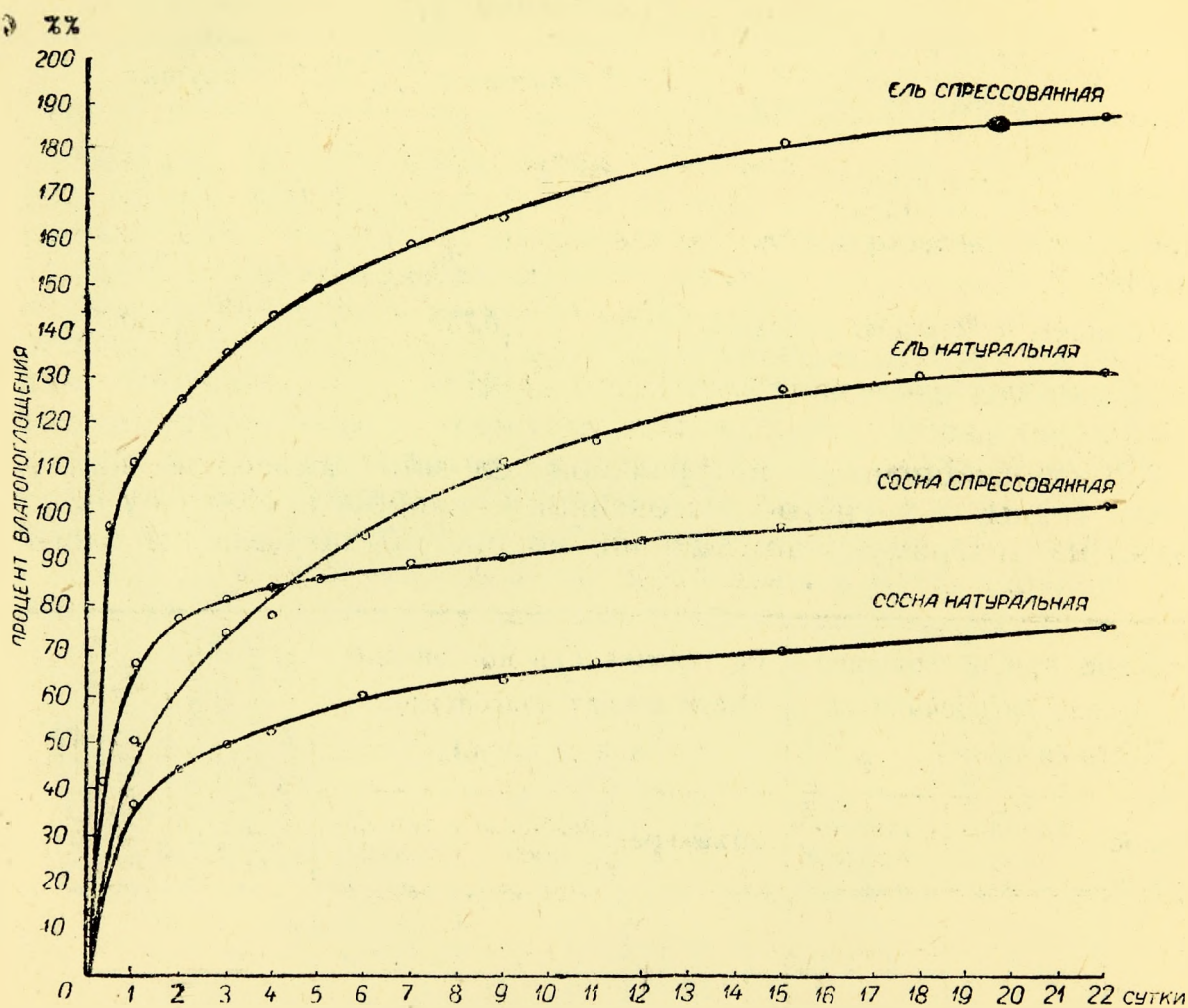


Рис. 31. Кривые влагопоглощения сосны и ели натуральной и спрессованной при загибе

8—10 суток почти не происходит. Поглощение же влаги древесиной обеих пород в натуральном состоянии происходит более или менее равномерно.



4. Гнуто-прессованная древесина сосны поглощает воды на 33 проц., а ель—на 45 проц. больше по сравнению с древесиной в естественном состоянии (рис. 31). При этом, как и в предыдущем

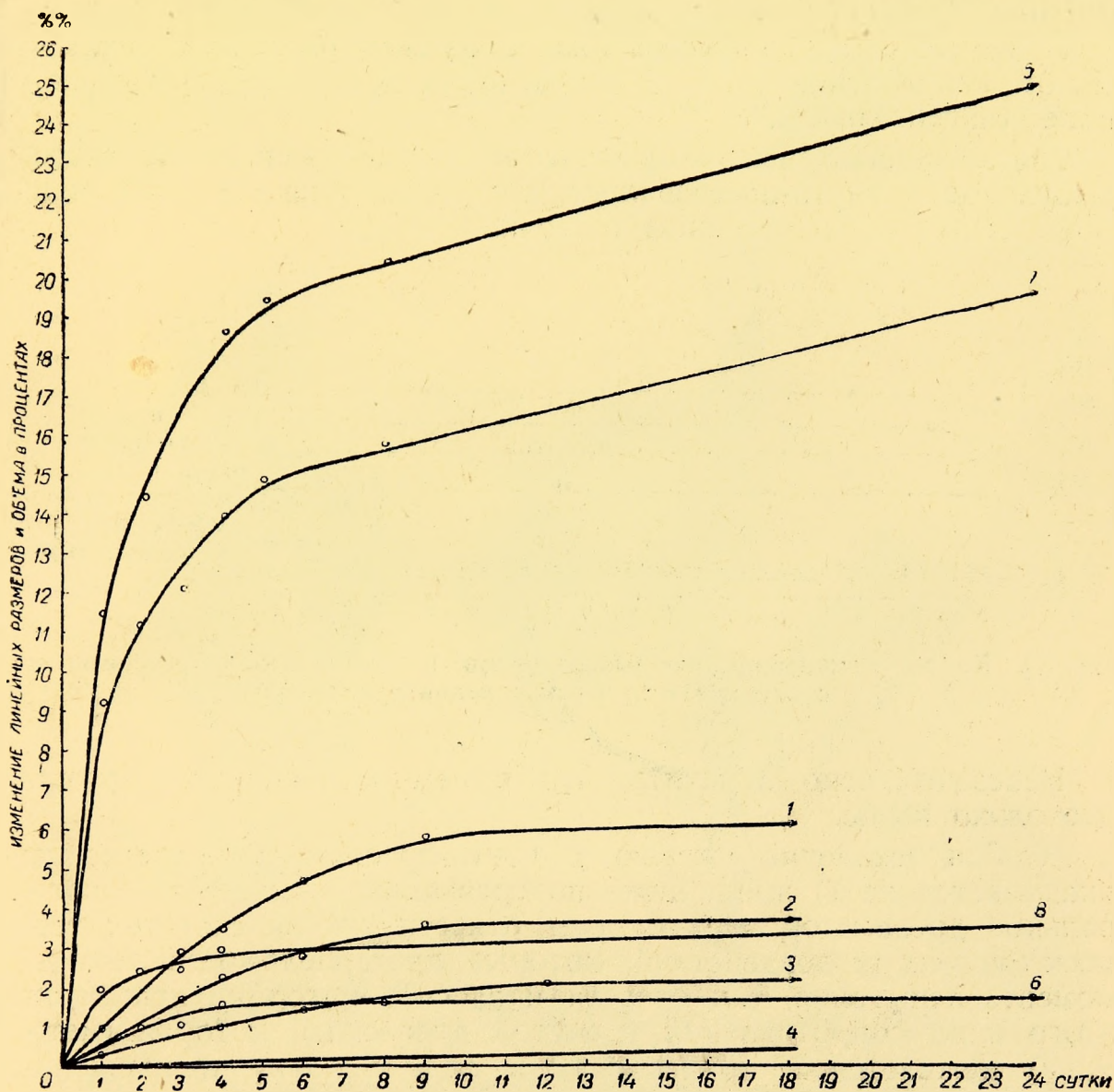


Рис. 32. Кривые изменения линейных размеров и объема древесины сосны (ядра) в зависимости от гигроскопичности: 1—кривая изменения объема натуральной древесины; 2—кривая изменения размера натуральной древесины в тангентальном направлении; 3— кривая изменения размера натуральной древесины в радиальном направлении; 4—кривая изменения размера натуральной древесины по длине волокон; 5—кривая изменения объема гнуто-прессованной древесины; 6—кривая изменения размера гнуто-прессованной древесины в тангентальном направлении; 7—кривая изменения размера гнуто-прессованной древесины в радиальном направлении; 8—кривая изменения размера гнуто-прессованной древесины по длине волокон.

случае, в начальный период (в течение 7—10 час.) у гнуто-прессованной древесины наблюдается весьма интенсивное поглощение, после чего оно становится плавным и замедленным.



5. Линейное разбухание прессованной в процессе затиба древесины во всех направлениях выше, чем у натуральной, как вследствие гигроскопичности (рис. 32), так и от влагопоглощения (рис. 33).

Кроме того, гнуто-прессованная древесина разбухает в радиальном направлении (т. е. в направлении прессования) больше, чем в тангентальном.

Соответственно высокому линейному разбуханию, объемное разбухание у гнуто-прессованной древесины также больше, чем у древесины в естественном состоянии.

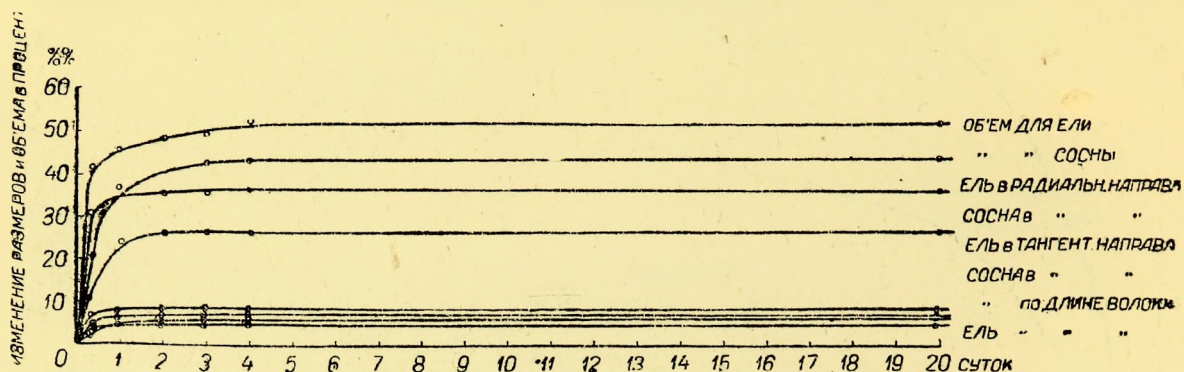


Рис. 33. Кривые изменения линейных размеров и объема гнуто-прессованной сосны и ели при намокании в воде.

Небезынтересно отметить, что объемное разбухание у ели несколько выше.

6. Сопротивление сжатию у гнуто-прессованной древесины оказывается на 11 проц. ниже по сравнению с незагнутой натуральной древесиной. Это следует отнести как за счет тех термомеханических воздействий, которые претерпела древесина до момента испытания, так отчасти и за счет методики испытания этого вида сопротивления у гнутой древесины, которая (методика) нуждается в коррективах в силу условий направления действующей внешней силы по отношению к годовым слоям образца. П. Н. Хухрянский<sup>1</sup> установил для загнутой обычным способом дубовой древесины также понижение сопротивления сжатию вдоль волокон (на 15 проц.).

7. Твердость гнуто-прессованной древесины превосходит твердость натуральной древесины в 1,5 раза.

В итоге исследования свойств гнуто-прессованной древесины, следует прийти к выводу, что ряд физико-механических свойств ее превосходит свойства натуральной древесины. Следовательно, новый метод гнутья не только обеспечивает бездефектный загиб,

<sup>1</sup> П. Н. Хухрянский — Влияние гнутья на механические свойства древесины дуба, «Специальное машиностроение», 1932 г.



но одновременно облагораживает древесину, превращая ее в новый, вполне полноценный материал.

Сказанное подтверждается так же произведенными исследованиями упругих свойств гнуто-прессованной древесины.

Для этого испытания были взяты загнутые образцы сосны и бук при отношении  $\frac{h}{r} = \frac{1}{5}$ . Бук был загнут обычным методом, т. е. без применения прессования, а сосна по новому методу.

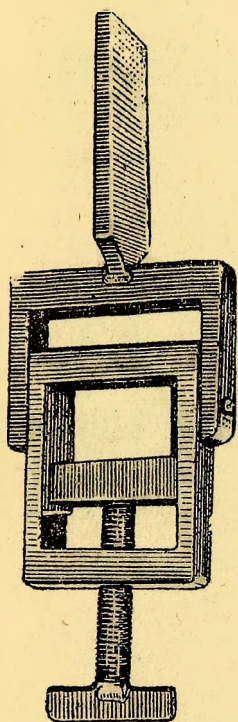


Рис. 34. Зажим для крепления загнутого образца при растяжении.

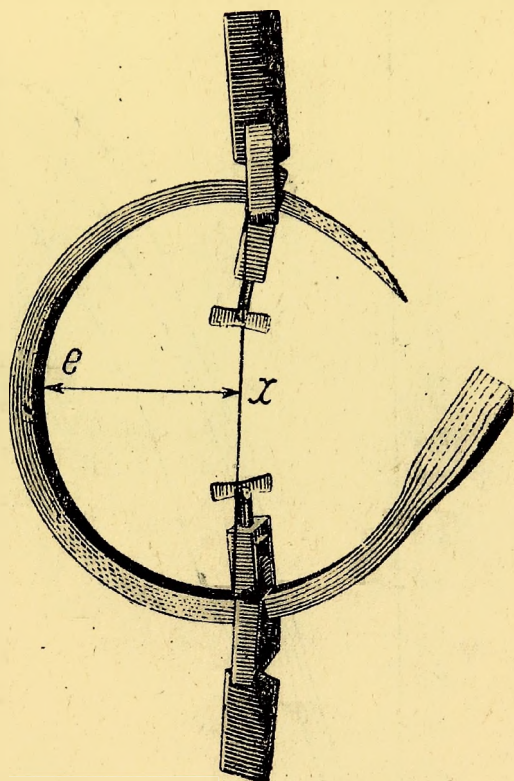


Рис. 35. Растяжение гнутого образца

Образцы растягивались на пятитонном прессе Амслера в специальных зажимах (рис. 34).

Предварительно у каждого испытуемого образца измерялась хорда  $X$  и перпендикуляр  $l$  (рис. 35).

Растягивание образца производилось до  $X + 50$  мм, причем после приращения длины хорды последовательно на 5, 10, 15 мм и т. д. образец оставлялся каждый раз при данной нагрузке в течение 1 мин.

Затем производились замеры  $X$  и  $l$ , фиксировалась нагрузка  $Q$ , и нагружение продолжалось до указанного предела  $X + 50$  мм.

Операции растягивания до  $X + 50$  мм были повторены для каждого образца 4 раза.



Далее определялся момент  $Ql$  и напряжение  $\sigma$ , которые терпевает образец при изгибании.

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2} \text{ кг/см}^2$$

На основании полученных данных испытания построены кривые для бука (рис. 36) и для сосны (рис. 37), из рассмотрения ко-

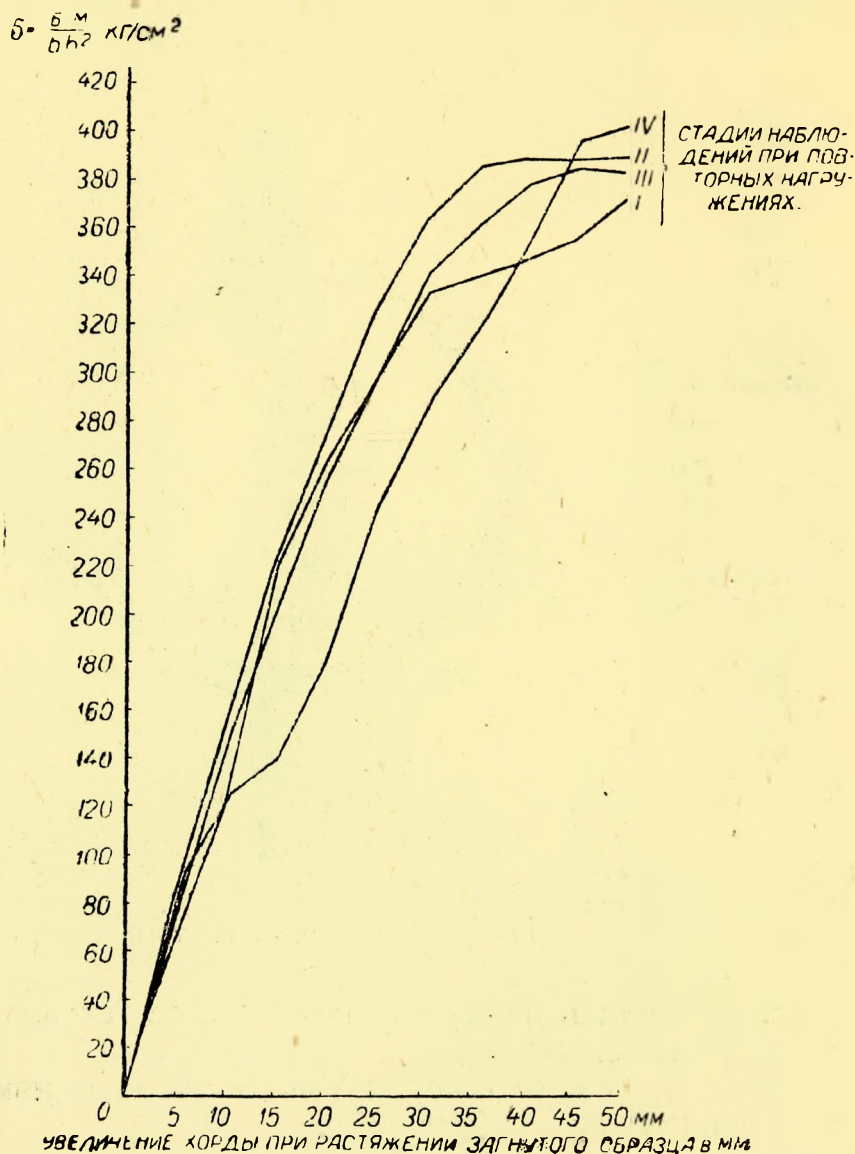


Рис. 36. Кривые изменения напряжения древесины гнутого образца бука при растяжении.

торых видно, что для бука  $\sigma = 400 \text{ кг/см}^2$ , а для сосны  $\sigma = 500 \text{ кг/см}^2$ . Следовательно оказалось, что тнуто-прессованная древесина сосны по крепости на перелом превосходит древесину бука.

Ввиду некоторой разницы в сечениях испытанных образцов бука и сосны за счет прессования последней, полученные при



описанном испытании характеристики были интерпретированы следующим образом. На диаграммах для гнуто-прессованной

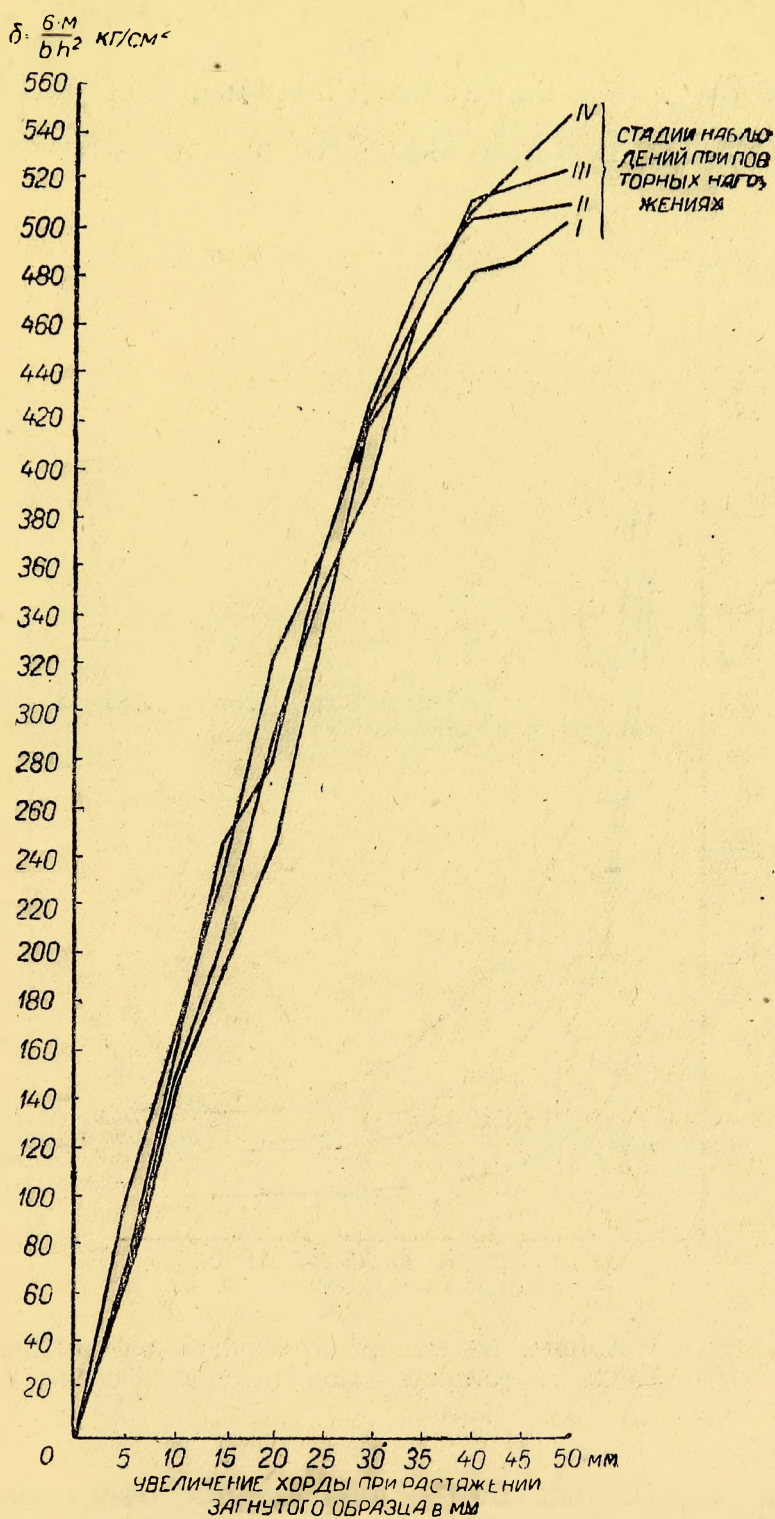


Рис. 37. Кривые изменения напряжения древесины гнуто-прессованного образца сосны

сосны (рис. 38) и для бука (рис. 39) по оси абсцисс откладывались значения приращения  $\alpha$  хорды  $X$  при разгибании образцов,



а на оси ординат — отношение остаточной деформации  $X$  хорды в процентах к напряжению:

$$\delta = \frac{6m}{bh^2}, \text{ т. е. } \frac{\alpha}{\sigma}$$

В результате, как видно из диаграмм, для сосны  $\frac{\alpha}{\sigma} = 360$ , и для бука — соответственно 380. Это значит, что по мере увели-

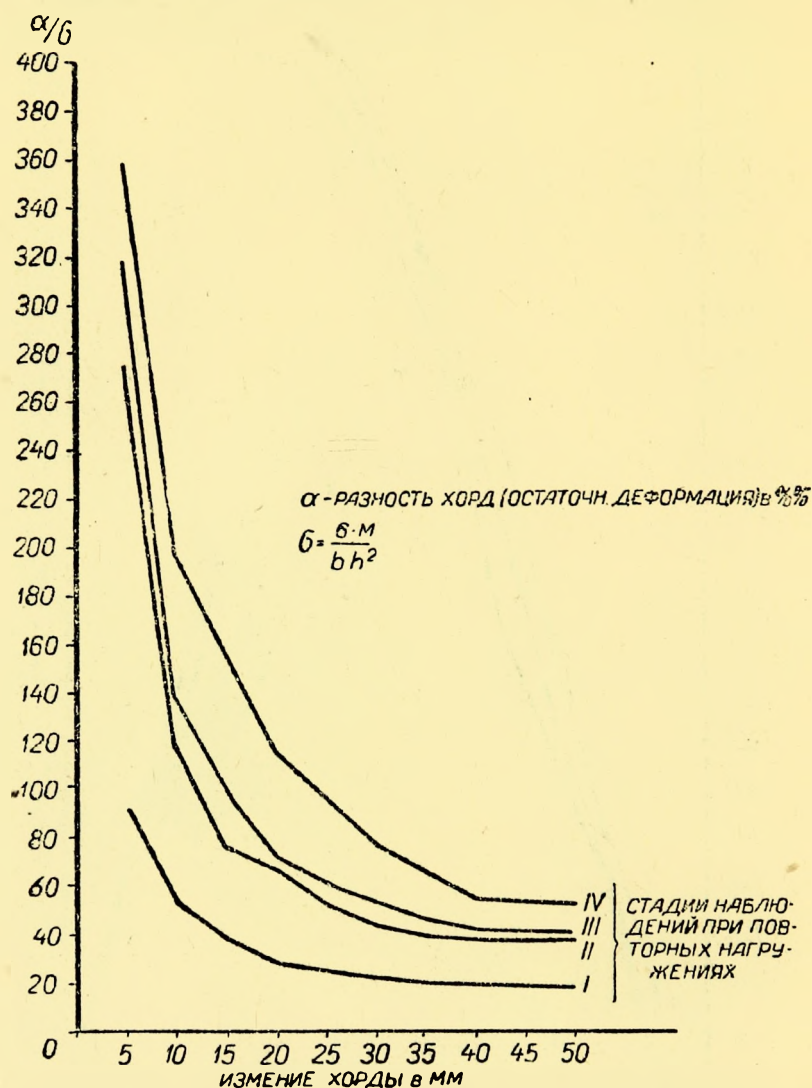


Рис. 38. Кривые изменения остаточной деформации по хорде гнуто-прессованного образца сосны

чения числа отдельных стадий нагружения, отношение  $\frac{\alpha}{\sigma}$  у сосны оказалось не больше, чем у бука и, следовательно, жесткость гнуто-прессованной древесины сосны не уступает жесткости древесины бука, загнутой обычным способом.



# **XI. Изменение микроструктуры древесины после загиба с одновременным прессованием**

В результате прессования в момент загиба древесина претерпевает существенные изменения в строении, что видно из микрофотографии поперечного среза гнуто-прессованной сосны (рис. 40).

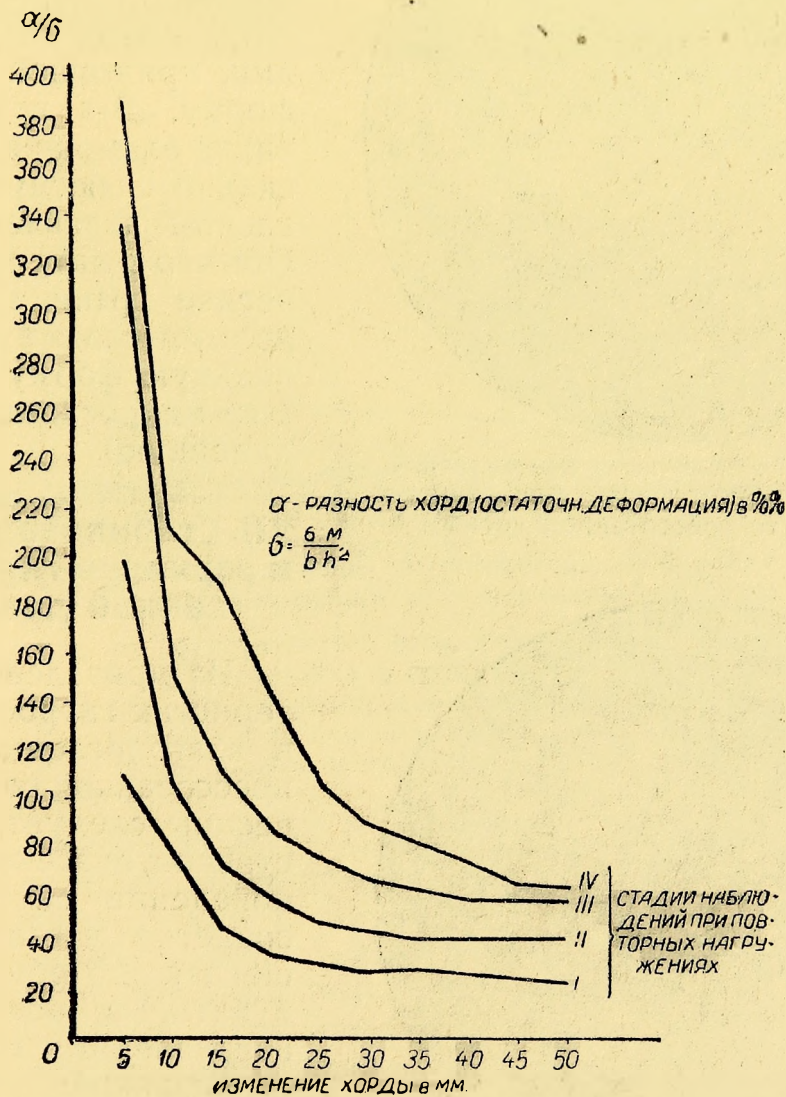


Рис. 39. Кривые изменения остаточной деформации по хорде гнутого образца бука.

При загибе с одновременным прессованием древесина как бы складывается по весенним зонам годовых колец. Как видим, трахеиды сильно сплющены и вклинены между собой. Древесина весенней зоны оказывается смещенной по отношению к летней зоне, что заметно по положению сердцевинных лучей.



Небезынтересно отметить наблюдаемые изменения в строении гнуто-прессованной березы (величина прессования 20 проц. по высоте). Как видно из фотографии поперечного среза (рис. 41),

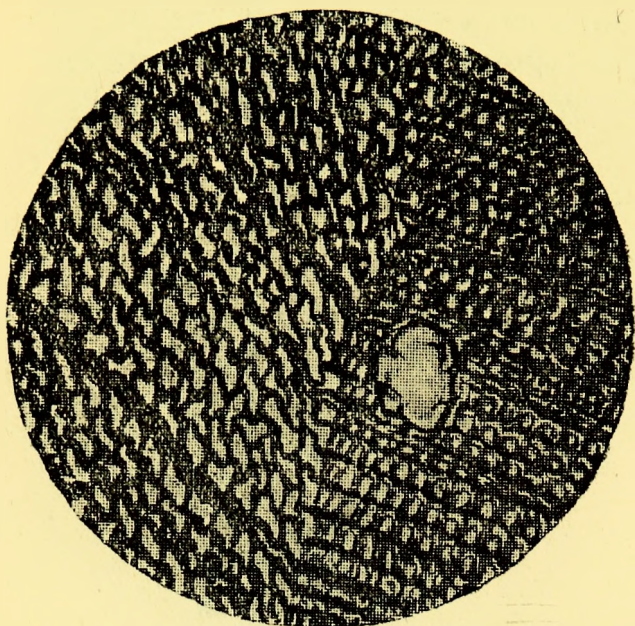


Рис. 40. Микрофотография поперечного среза гнуто-прессованной сосны

древесные ткани оказываются уплотненными в направлении годовых слоев, т. е. в направлении прессования. Особенно заметно это в направлении границы между годовыми слоями, принявшей волнистую форму. Эта граница ясно видна благодаря 2—3 рядам сильно сплюснутых в радиальном направлении клеток. Обычно в натуральной древесине граница между годовыми слоями имеет правильную форму (на срезе под микроскопом — прямолинейную).

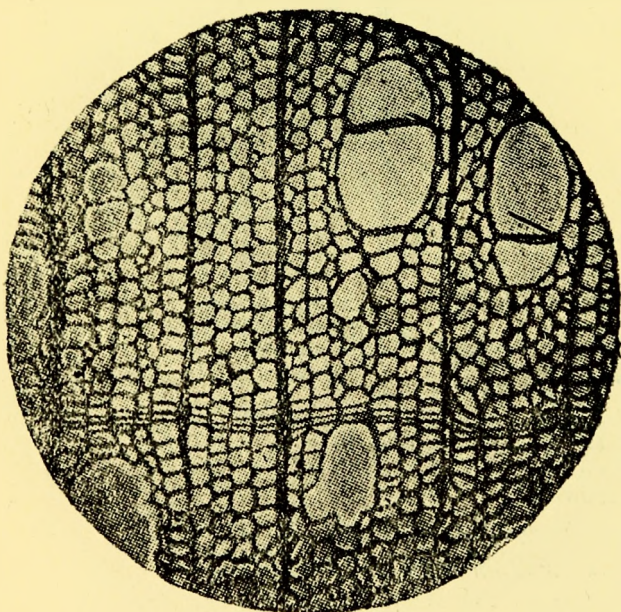


Рис. 41. Микрофотография поперечного среза гнуто-прессованного образца березы

## **XII. Стабилизация формы и размеров гнуто-прессованной древесины**

Из приведенных характеристик гигроскопичности и влагопоглощения гнуто-прессованной сосновой древесины следует, что, естественно, опасения вызывает поведение ее во влажной среде, в частности повышенная способность ее разбухать, в особенности в направлении прессования. Наблюдения над поведением загнутых сосновых реек при незамкнутом контуре в комнатных условиях показали, что такая древесина оказывается в этих условиях ( $T = 18^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi = 65$  проц., длительность хранения — 18 суток) практически стабильной. Диаграммы (рис. 42) подтверждает сказанное.

В силу повышенной гигроскопичности гнуто-прессованная



древесина быстрее достигает состояния равновесной влажности, чем древесина натуральная, а затем подчиняется общему закону влажностного устойчивого равновесия в зависимости от условий среды.

Если контур гнuto-прессованной древесины не замкнут, то при хранении в воде она в течение короткого времени восстанавливает свои размеры почти до первоначальных (до прессования), изменяя также форму, однако не выпрямляясь до состояния прямолинейного контура.



Рис. 42. Изменение размеров и форм гнuto-прессованной рейки с незамкнутым контуром при хранении ее в комнатных условиях.

Обозначения:  $\varphi$  — относительная влажность воздуха в процентах;  $t$  — температура воздуха в градусах Цельсия;  $d$  — кривая изменения диаметра гнuto-прессованной рейки;  $r$  — кривая изменения размера в радиальном направлении;  $T$  — кривая изменения в тангентальном направлении.

При замкнутом контуре (концы закреплены) после 10 суток хранения в воде гнuto-прессованная древесина не изменяет своих размеров и формы.

Из сказанного можно сделать вывод, что гнuto-прессованная сосна и вообще хвойные породы могут служить в любых условиях в том случае, если имеют замкнутый контур. Однако следует отметить, что при хранении в воде в них развиваются значительные внутренние напряжения.

Несмотря на вышеуказанный положительный факт сохранения древесиной формы, вопрос о разрешении стабилизации формы и размеров гнuto-прессованной древесины представляет, несомненно, весьма актуальную задачу.

Формоизменяемость натуральной древесины в силу гигроскопичности и поглощения ею капельно-жидкой влаги, как известно, является одним из отрицательных свойств. Надежные методы стабилизации формы и размеров натуральной древесины на сегодня еще не найдены. Для гнuto-прессованной древесины в тех случаях, когда она будет работать с незамкнутым контуром,



вопрос этот приобретает особенную остроту. Тем не менее обычно практикуемые способы, замедляющие набухание натуральной древесины посредством механического преграждения доступа влаги путем нанесения на поверхность древесины всякого рода защитных покрытий (масляные лаки, нитролаки и др.), будут применимы с неменьшим эффектом и к гнуто-прессованной древесине. В равной мере может быть применена пропитка фенолальдегидными соединениями, растворами белков с последующим дублением и пр.

Несмотря на возможность применения указанных мер, чрезвычайно заманчиво полностью погасить упругие деформации, проявляющиеся наиболее активно при весьма влажном режиме хранения древесины. Как известно, при простом прессовании древесины прямолинейного контура (например, для челноков текстильной промышленности) ЦНИЛХИ<sup>1</sup>, в принятой им схеме технологического процесса, применяет метод стабилизации древесины (в виде прямоугольных и плоских брусков), путем контакта древесины с нагретой матрицей. Однако этот метод не является эффективным, так как происходит только сушка древесины и притом в чрезвычайно неблагоприятных для нее условиях. Стабилизации же в такой мере, которая удовлетворяла бы производство, не происходит; наоборот, при непосредственном воздействии влажного воздуха (в частности при хранении на складах и при перевозках) и воды, древесина полностью восстанавливает свои размеры в направлении прессования.

Метод передачи тепла древесине контактом вообще ни в коей мере не согласуется с физической природой древесины-материала, отличающегося исключительно низким коэффициентом теплопроводности.

В результате применяемого ЦНИЛХИ пьезотермического процесса облагораживания цельной древесины, в ней возникает резкий температурный градиент<sup>2</sup>. Так как процесс ведется с влажной древесиной (не абс. сухой), то в ней неизбежно развитие внутренних напряжений, сводящее на-нет весь благоприятный эффект, который может дать тепло, целесообразно подведенное к древесине.

В то же время мы присоединяемся к начинаниям проф. Б. Т. Ива<sup>3</sup>, стоящего на грани эффективного разрешения вопроса о получении гидрофобной древесины.

Если методика Б. Т. Ива окажется положительной и вводи-

---

<sup>1</sup> В. Г. Матвеев «Пластификация цельной древесины». Сборник статей «Пластификация древесины». Гослестехиздат, 1933 г.

<sup>2</sup> В. А. Баум. «Прогрев древесины при пьезотермическом облагораживании ее по методу ЦНИЛХИ». Журн. Лесохимическая промышленность. 1934 г., № 17—19

<sup>3</sup> Б. Т. Ив. «Водоустойчивость прессованной древесины». Журн. Лесохимическая промышленность. 1934 г., № 7—9.



мые им в древесину химические реагенты не понизят ее механических свойств, — то можно будет сказать, что задача стабилизации формы гнuto-прессованной древесины с незамкнутым контуром при хранении ее во влажной среде будет разрешена.

Не отрицая методов химического воздействия на древесину для стабилизации ее формы, мы обращаем внимание на стабилизацию формы древесины теплом, целесообразно переданным древесине. Стабилизировать должен нагретый воздух. Нужно создать «пластический» режим сушки.

Анализируя систему прямодействующих факторов, обуславливающих явление усадки древесины в результате принудительного удаления из нее межмицеллярной воды, мы приходим

к необходимости утверждать наличие аналогии в зависимостях, с одной стороны, между случаями действия любой внешней силы на древесину, скоростью нагружения продолжительностью на грузки и вызываемыми действующей силой величиной напряжения и деформацией и, с другой стороны, между величиной внутренних напряжений во время сушки,

скоростью их приложения и усушкой, т. е. деформацией. Если скорость нагружения увеличивается, то неизбежно увеличиваются и возникающие в материале напряжения, но деформация получается малой.

То же самое мы имеем и при сушке: чем жестче режим (т. е., так сказать, «скорость нагружения»), тем большее развитие получают внутренние напряжения в древесине и тем меньшей и менее устойчивой оказывается деформация, т. е. усушка.

Наоборот, длительное воздействие мягкого режима среды вызывает соответственно меньшее развитие напряжений, упорядоченную ориентацию элементов древесины, и, как результат, большую и притом устойчивую деформацию. Согласно исследованию проф. А. Ю. Рейхардта и наших небольших наблюдений, оказалось, что образцы древесины с одной и той же начальной влажностью, высушенные одни в комнатных условиях в течение длительного периода до определенной влажности, а другие при жестком режиме в сушиле до того же влагосодержания, получили различную усушку (образцы, сушившиеся при комнатных условиях, — большую). Однако при дальнейших наблюдениях оказалось, что образцы, высушенные по жесткому режиму,

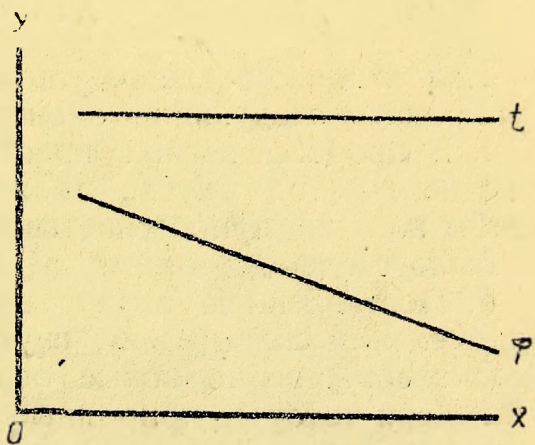


Рис. 43. Схема пластического режима сушки



несмотря на равновесную их влажность, достигали впоследствии при хранении той же усушки, что и образцы, высушенные при комнатных условиях. Этот факт огромного значения указывает, с какой осторожностью следует решать вопросы о передаче тепла с целью стабилизации формы древесины при термической ее обработке.

Мы выдвигаем идею пластического режима сушки (рис. 43), преобладающим фактором в котором будет длительность и постоянство термического воздействия, — режима, назначение которого состоит в том, чтобы, погасив упругие деформации, получить уравновешенную систему.

### **XIII. Выводы**

Изложенные выше результаты исследования позволяют сформулировать следующие окончательные выводы:

1. В процессе загиба преобладает техника загиба, а потому обычный метод гнутья должен быть изменен таким образом, чтобы влияние природных свойств древесины на качество загиба было сведено к минимуму.

2. Поставленную задачу целиком решает новый метод загиба (механический режим гнутья). Принципиальная сторона его вносит совершенно новые основы в технику гнутья древесины, благодаря которым природные свойства хвойных и других пород, характеризующие малую их способность гнуться на заданный радиус кривизны при обычных приемах загиба, становятся факторами подчиненными, и такие породы оказываются способными поддаваться загибу на любой практически целесообразный радиус кривизны без дефекта.

3. Решающим фактором бездефектного загиба является прессование древесины поперек волокон в момент загиба на рифленых шаблонах.

4. Величина уменьшения загибаемого бруска по высоте (прессование), достаточная для совершения бездефектного загиба, обратно пропорциональна объемному весу загибаемой древесины.

5. Изложенный выше механический режим гнутья, разработанный автором совместно с инж. А. А. Андреевым при участии проф. А. Х. Певцова, дает возможность получить прессованную и при желании «пластифицированную» древесину (при условии соответственной специальной термической обработки) любого криволинейного профиля, технически легко осуществимого при производстве деталей любых практически-целесообразных размеров.

6. Механические свойства получаемого в результате прессования продукта (гнуто-прессованная древесина) повышаются, причем при замкнутом контуре гнуто-прессованная древесина может служить в любых условиях эксплуатации. Поэтому ее следует немедленно рекомендовать, как полноценный заменитель в про-



изготовлении гнутой мебели, колесных ободьев, бочарных оброчей и др.

7. Стабилизация формы и размеров гнуто-прессованной древесины, в особенности при незамкнутом контуре, при работе ее в среде с повышенной влажностью является актуальной задачей, стоящей на очереди. В основу метода стабилизации должна быть положена принципиальная схема пластического режима сушки. Метод химического вмешательства рассматривается нами как метод сопутствующий.

Промышленность должна немедленно широко применить метод гнутья древесины с одновременным ее прессованием, так как благодаря этому открывается возможность расширить ассортимент древесных пород для производства гнутых изделий и тем заменить дефицитные или необходимые для других специальных целей твердые породы.

#### **XIV. Практические мероприятия по применению нового метода гнутья с целью использования хвойных пород в мебельном, обозном и др. производствах**

Область применения гнуто-прессованной древесины хвойных пород может быть весьма широка. Если до сих пор применение гнутой древесины в ряде случаев встречало известные затруднения в недостатке сырья, то теперь эти затруднения полностью отпадают. Наибольший интерес представляет применение гнутых деталей из хвойных пород в мебельной промышленности, в которой широкое применение этих пород до сих пор вообще затруднялось их относительно низкими механическими качествами, не говоря уже о затруднениях в обработке этих пород гнутием.

Для осуществления нового метода при загибе круглых деталей, в частности царг для гнутой мебели, могут быть приспособлены имеющиеся горизонтальные гнутарные станки, например типа «Табог» фирмы Агра (последняя модель рис. 44) или фирмы Шлоссер. В этих станках следует усилить конструкцию прижимного ролика и изменить принцип его работы, а именно: ему следует придать назначение прессующего ролика. Кроме того, должны быть сделаны изменения в торцовом упоре с тем, чтобы величину осевой силы можно было изменять в процессе загиба или сохранять в момент загиба на любом заданном значении. Так как станки Агра или иные являются импортными, а в Союзе строительство подобных станков еще только налаживается, необходимо в экспериментальном порядке построить несколько опытных станков, положив в основу их конструирования следующие технические условия, которые могут служить руководством и для реконструкции имеющихся зарубежных станков.



Предлагаемые технические условия для конструирования гнутарного станка даются применительно к производству царг (и колец) для гнутой (венской) мебели.

1. Станок предназначен для загиба сосновых пропаренных или проваренных реек с сечением (до гнутья с одновременным прессованием) до  $40 \times 60$  мм (для получения сечения гнутой рейки  $40 \times 40$  мм при величине прессования 30—35 проц.). Предельный радиус изгиба  $r = 200$  мм. Отношение  $\frac{h}{r} = \frac{1}{5}$ , где  $h$  — высота рейки до гнутья и  $r$  — радиус кривизны.

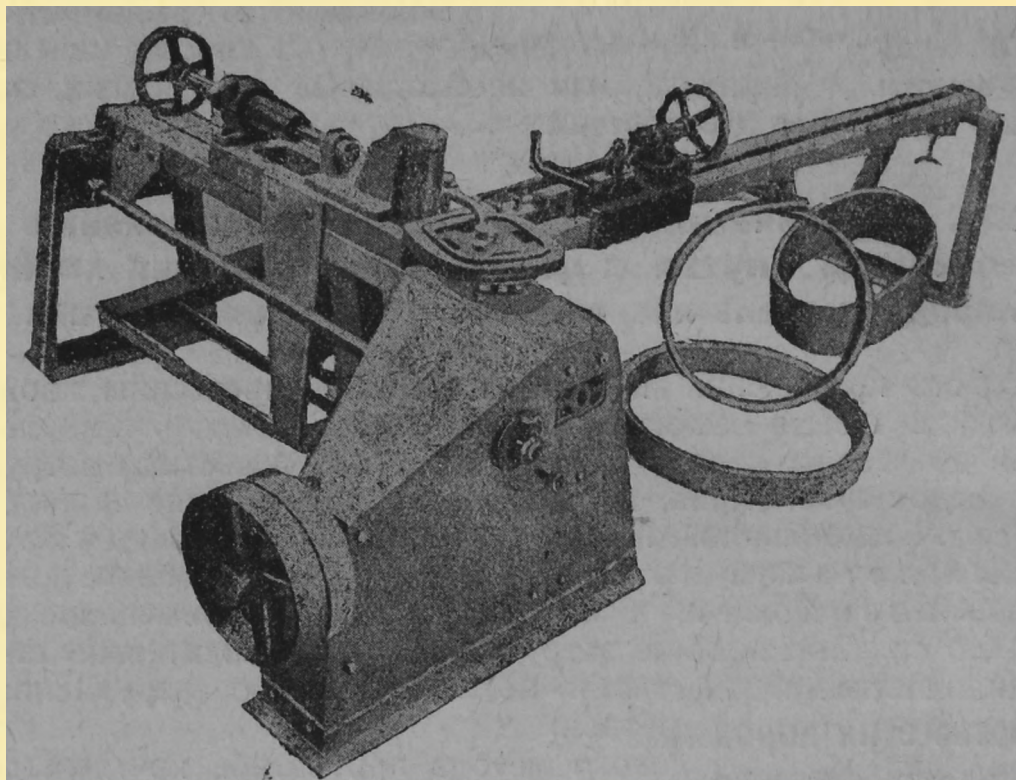


Рис. 44. Горизонтальный гнутарный станок с механическим приводом фирмы Агра

2. Станок в основе должен состоять из моторного привода, рифленых шаблонов для гнутья, надеваемых на ось станка или закрепляемых на тарелке станины (по типу Агра), направляющих для рейки, торцового упора и прессующего валика.

3. Общая конструкция может быть подобна конструкции станка «Табор» фирмы Агра (рис. 44) с некоторыми изменениями. Конструкция станка «Табор» не может обеспечить рекомендуемого режима загиба, так как: а) назначение валика в этом станке — только прижимать брусок к шаблону, что достигается при помощи пружины, б) торцовый упор не дает возможности сохранить стабильной желаемую величину осевой силы  $P$  и варьировать ее в широких пределах.



4. В станке для гнутья по новому методу торцовый упор должен быть такой конструкции, чтобы была возможность в процессе загиба в любой момент изменять величину силы  $P$ , возбудителем которой является сама древесина при загибе, и сохранять ее неизменной по заданному значению в пределах от 0 кг до

$$\frac{400 \cdot 6 \cdot 6}{2 \cdot 2} 1,5 = 5\,000 \text{ кг.}$$

Конструкция ролика должна допускать возможность прессовать древесину. С этой целью она должна предусматривать свободное перемещение ролика (возвратно-поступательное) к горизонтальной плоскости по нормали к шаблону (без поворота). Высота ролика 45 мм, диаметр—100 мм. Ролик должен иметь приспособление, дающее возможность в процессе загиба получать нажатие на рейку от 0 кг до  $60 \times \frac{6}{2} \times 1,5 = 300 \text{ кг.}$

В опытной модели, как ролик, так и торцовый упор должны быть снабжены месдозами.

5. К станку должен быть приложен комплект металлических шаблонов, имеющих на своей боковой поверхности рифление (накатка) глубиной от 0,5 до 2 мм, в зависимости от отношения  $\frac{h}{r}$ , причем оптимальные величины глубины накатки устанавливаются опытом. Необходимой принадлежностью станка являются шины из мягкой стали, толщиной от 2 до 2,5 мм, и хомуты (струбцины).

6. Моторный привод должен быть рассчитан на то, чтобы на главном валу станка (оси) можно было получить момент  $210 \times 10^6 \frac{6^4}{2^4} \times 1,5 = 255 \times 150 = 250\,000 \text{ кг-см} = 2\,500 \text{ кг-м.}$  При этом в опытной модели привод должен давать возможность регулировать скорость загиба, измеряемую числом градусов, на которое перемещается шаблон в одну секунду в пределах трех скоростей  $3 \frac{\text{град.}}{\text{сек.}}$ ;  $6 \frac{\text{град.}}{\text{сек.}}$  и  $12 \frac{\text{град.}}{\text{сек.}}$

При изготовлении колец употребляется такой же станок, причем сечение кольца должно быть квадратное (или прямоугольное).

Для других деталей стула (локотников, спинок, ножек и пр.), на основе изложенного выше режима загиба, должны применяться станки и приспособления соответствующей конструкции, причем может применяться и ручной привод.

Стул из гнуто-прессованной сосны (или другой хвойной породы) целесообразнее всего делать из деталей, имеющих квадратное сечение. При желании гнутые детали квадратного сечения



могут быть округлены, что легко достигается при применении современных станков, употребляемых для этой цели.

**В обозном производстве** для гнутья ободьев применим станок, подобный описанному выше станку для гнутья царг. Следует лишь пересчитать соответствующие значения приведенных характеристик для торцового упора и прессующего ролика, что легко сделать на основе данных, помещенных на стр. 24 и 55.

**В производстве спортивного инвентаря**, игрушек и пр. в зависимости от назначения детали и изделия в каждом данном случае могут быть устроены специальные приспособления для прессования загибаемой рейки поперек волокон.

Следует приступить к замене дефицитной обрубной древесины для бочек гнуто-прессованными обручами из сосны, ели или другой хвойной породы. Это может разрешить проблему обручной древесины и вместе с тем даст возможность широко использовать колоссальное количество отходов от лесопиления. Равным образом следует провести работы по применению гнуто-прессованной древесины в производстве деревянных труб, шкивов и т. д. Наконец, гнуто-прессованная древесина может получить надлежащее применение в самолетостроении и в автостроении и в других специальных видах производства.

Разумеется, приведенными примерами не ограничиваются все возможности использования гнуто-прессованной древесины. Задача должна заключаться в дальнейшем всестороннем исследовании метода гнутья древесины с одновременным ее прессованием и в постановке опытов в промышленном масштабе, а также в подробном изучении физико-механических свойств гнуто-прессованной древесины и способов стабилизации ее размеров и формы.

Нет надобности говорить, какие широкие перспективы открывает новый метод загиба, давая реальную возможность заменить дефицитные породы полноценным продуктом — облагороженной елью, сосной, пихтой, лиственницей и др. хвойными, которыми так богата наша страна.

---

Ответственный редактор А. Рейхардт

Редактор А. Хейфец

Технический редактор Ю. Барсукова

Выпускающий Б. Корнилов

Корректор С. Керлин

КОИЗ № 98,

3,5 п. л.

46.000 зн. в л.

Формат 62×94/16

Сдана в набор 11 июля 1935 г.

Подписана к печати 7 окт. 1935 г.

Уп. Главлита Б—10310

Заказ № 751

Тираж 3.000 экз.

---

Тип. изд-ва «Дер Эмес», Москва, Покровка, 9.



**ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ**  
в книге П. В. Кононенко „Гнутье хвойных пород“

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
8	6 сверху	называем	назовем
11	18 снизу	по тем же соображениям что и	по тем соображениям, что для
16	9 снизу	пружинным	прижимным
19	5 сверху	плоскость должна быть	плоскость загиба должна быть
32	10 снизу	Гидравлическая	Гидротермическая
33	2 сверху	на выгнутой	на вогнутой
39	в последней графе табл.	$\frac{чр}{мм^2}$	$\frac{гр. мм}{мм^2}$
45	1 снизу	приращения $\alpha$ хорды	приращения хорды
46	1 сверху	деформации X	деформация $\alpha$



Цена 90 коп.

М1 3264

ВСЕСОЮЗНОЕ КООПЕРАТИВНОЕ  
ОБЪЕДИНЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

КОИЗ

МОИСЕЕВ Н. М. (инж.) Обработка древесины на машинах  
и станках. 144 стр., 182 рис., ц. 2 руб. 25 коп.

АБРАМОВ Н. Г. (инж.). Тара для лесохимических товаров.  
84 стр., ц. 1 руб. 50 коп.

ВОЛКОВ М. А. Производство колотой клепки, 240 стр.,  
11 рис., ц. 40 коп.

МАЛИНЫЧЕВ А. А. и КУДРЯВЦЕВ Н. И. Разработка осины  
на колотую клепку. Анализ выходов и технико-  
экономические показатели. 75 стр., 29 рис,  
19 табл., ц. 1 руб., 25 коп.

СТРЕЖНЕВ В. М. Производство осиновой клепки. 202 стр.,  
113 рис., ц. 3 руб. 45 коп.

ЖАРИНОВ С. А. Производство деревянных обручей.  
56 стр., 17 рис., ц. 45 коп.

АНТОНОВ М. С. (инж.). Ремонт деревянной тары. 96 стр.,  
33 рис., ц. 95 коп.

ФАЙВИШЕВСКИЙ Я. Л. и ПАШЕНИН М. Г. Мягкая тара  
из мочала, древесной стружки и рогоза. 192 стр.,  
138 рис., ц. 3 руб. 85 коп.

КОНОНЕНКО П. В. (инж.) и МЕДВЕДЕВА Е. Т. (инж.).  
Облагораживание осиновой стружки с целью  
замены ею мочала. 28 стр., 11 рис., ц. 50 коп.

ИСПАНКИН Ф. Б. Производственная калькуляция тары  
в артелях леспромкооперации. 68 стр., ц. 1 руб.  
25 коп.

ПЕРЕЛЫГИН М. М. и КОНОНЕНКО П. В. (инж.). Сравни-  
тельные испытания механических свойств об-  
ручей из древесины разных пород. 48 стр.,  
15 рис., ц. 1 руб. 25 коп.

**Книги высылаются наложенным платежом**

**ЗАКАЗЫ НАПРАВЛЯТЬ**

1. Москва, Неглинный проезд, 23, КОИЗ.
2. Ленинград, Гостиный двор, Б. Суровская  
линия, 127, отд. КОИЗа